

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL COLORANTE AZUL
MARINO DIRECTO (AMD) EN SOLUCIÓN ACUOSA CON CARBÓN OBTENIDO DE
CÁSCARAS DE BANANAS**

**GABRIELA ANDREA PELUFFO FOLIACO
SHARON CASTRO MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BARRANQUILLA, COLOMBIA
2019**

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL COLORANTE AZUL
MARINO DIRECTO (AMD) EN SOLUCIÓN ACUOSA CON CARBÓN OBTENIDO DE
CÁSCARAS DE BANANAS**

**Trabajo de grado para optar al Título:
INGENIERO AMBIENTAL**

**GABRIELA ANDREA PELUFFO FOLIACO
SHARON CASTRO MUÑOZ**

**Directora:
CLAUDIA HERRERA HERRERA. M. Eng.**

**Codirectora:
ALEJANDRA ZAMBRANO ARÉVALO. M.Sc.**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BARRANQUILLA, COLOMBIA
2019**

NOTA DE ACEPTACION

Mg. José Espinosa
EVALUADOR

Mg. Mónica Ayala
EVALUADOR

Mg. Claudia Herrera Herrera
DIRECTORA DEL PROYECTO

Mg. Liliana Lozano
DIRECTORA DEL PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Mg. Fairuz Ospino
DECANA FACULTAD DE INGENIERÍA

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios por darnos la sabiduría, persistencia, amor, paciencia. A mis padres por el apoyo incondicional, a mi compañera de tesis por su entrega, pasión y compromiso.

Sharon Castro Muñoz

Como un sencillo gesto de agradecimiento dedico mi tesis a mis padres que han sido el pilar fundamental en mi formación profesional, por brindarme la confianza, consejos y recursos para lograrlo, a mi familia, novio y a mi compañera incansable de tesis.

Gabriela Andrea Peluffo Foliaco

Agradecimientos

Primeramente, la gloria y agradecimientos son para Dios, por su infinita misericordia. Gracias a nuestros padres, familiares y amigos que con una sonrisa y un ¡Animo, falta poco!, Aunque no fuera así, hicieron este trabajo un poco más llevadero. Gracias a todos por creer en nosotras y por apoyarnos, por decirnos que sí podíamos.

Gracias a nuestras tutoras, Claudia Herrera y Alejandra Zambrano, por su empeño, desveladas y su inteligencia que colocaron a nuestro servicio para cumplir una de nuestras metas.

Así mismo le agradecemos a la Doctora Grey Castellar por su apoyo y asesoramiento en nuestro trabajo de grado, fue un privilegio contar con alguien con tanta experiencia en el área de remoción de agentes contaminantes en medios acuosos.

Gracias a la empresa Comercializadora Internacional de Colorantes CECOLOR SAS por suministrarnos el colorante analítico Azul Marino Directo, el cual fue parte fundamental para el desarrollo de esta investigación.

Al grupo de investigación física de materiales de la Universidad del Atlántico por abrirnos las puertas del laboratorio de biotecnología para realizar el análisis infrarrojo en el equipo FTIR (iraffinity-1s shimadzu).

Gracias al laboratorio Química Internacional S.A. seccional Barranquilla Quintal SAS por determinar el área superficial de los carbones objeto de estudio de esta investigación.

Por último y no menos importante, a la Universidad de la Costa CUC por brindarnos la oportunidad de trabajar en el Laboratorio Centro de Investigaciones en Tecnología Ambientales (CITA), en el cual pudimos desarrollar parte de nuestra investigación haciendo uso de la mufla, horno, agitador mecánico, medidor de pH, balanza analítica y espectrofotómetro.

¡Muchas gracias!

Sharon Castro Muñoz - Gabriela Andrea Peluffo Foliaco

Resumen

Las cáscaras de banana (*musa paradisiaca*) son consideradas un residuo orgánico, las cuales se utilizaron para fabricar un material adsorbente (carbón), de forma natural con activación térmica, y utilizarlo para estudiar su comportamiento en la remoción de un colorante, Azul Marino Directo (AMD). Se obtuvieron cuatro tipos de carbón a partir del tratamiento térmico a 300°C y a 500°C, utilizando dos tamaños de partícula, 425 micras llamado polvo y 850 micras llamado granular. La mayor área superficial fue registrada por el carbón 500°C tipo polvo: 80.3718 m²/g, también registró el porcentaje más bajo de humedad 6,37%. Se concluyó que el carbón con mayor capacidad de adsorción fue el de 500°C, polvo. Los datos experimentales obtenidos se ajustan satisfactoriamente a la isoterma Freundlich.

Palabras claves: Cáscara de banana, Azul marino Directo, Carbón, isothermas

Abstract

The banana peels (*paradisiacal muse*) are considered an organic waste, which were used to make an adsorbent material (coal), in a natural way trough a thermic activation in order to study the remotion capacity of Navy Blue dye (NB) colorant. Four types of coals were obtained from the thermic activation at 300°C and at 500°C using two sizes of particles: 425 microns denominated as coal dust and 850 microns denominated as granular coal. The biggest superficial area was registered by the 500° C coal dust: 80.3718 m²/g, it also registered the lowest humidity rate 6,37%. The study concludes that the coal with the highest adsorption capacity was the 500°C coal dust. The experimental data obtained from this study adjust to Freundlich isotherm.

Keywords: Banana peel, Navy Blue dye, Coal, Isotherm

Contenido

1.	Introducción.....	12
2.	Planteamiento del problema	14
3.	Justificación.....	15
4.	Objetivos	17
4.1.	Objetivo general	17
4.2.	Objetivos específicos.....	18
5.	Marco teórico	18
5.1.	Antecedentes	18
5.2.	Adsorción	19
5.3.	Colorantes.....	19
5.4.	Carbón de cáscaras de bananas maduras.....	21
5.5.	Propiedades de un carbón.....	22
5.6.	La Química Verde	24
5.7.	Azul marino directo (AMD).....	25
5.8.	Isotermas de adsorción	26
5.8.1	Isotermas de adsorción de Freundlinch	27
5.8.2	Isotermas de adsorción de Langmuir.....	28
5.8.3.	Isoterma de adsorción BET	29
6.	Metodología.....	30
6.1.	Tipo de investigación	30
6.2.	Materiales	31
6.2.1	Reactivos	31
6.2.2	Equipos y materiales	31
7.	Metodología experimental.....	32
7.1.	Diseño del experimento.....	32
7.2.	Preparación del carbón con cáscara de bananas maduras.....	33
7.3.	Caracterización fisicoquímica del carbón	35
7.3.1	Determinación del área superficial	35
7.3.2	Análisis próximo	36
7.3.3	Método Böehm.....	38
7.3.4	Análisis infrarrojo.....	41
8.	Método de medición del azul marino directo	41
8.1.	Elaboración de curva de calibración AMD	41
8.2.	Estudios por lotes	42

8.3.	Ensayos de adsorción	42
9.	Resultados y discusión	44
9.1.	Determinación del área superficial.....	44
9.2.	Análisis próximo	44
9.3.	Método Böehm.....	46
9.3.1	Estandarización de las soluciones “stock”.....	46
9.3.2	Estandarización de las soluciones finales.....	46
9.3.3	Cuantificación de los grupos funcionales ácidos superficiales	48
9.4.	Análisis infrarrojo.....	50
9.5.	Elaboración de la curva de calibración.....	51
9.6	Ensayos de adsorción en porcentaje de remoción	52
9.6.1	Carbón polvo a 300°C	52
9.7	Isotermas de adsorción	58
9.7.1	Isoterma de Freundlich.....	58
9.7.2	Isoterma de Langmuir	61
10.	Conclusiones	66
11.	Recomendaciones.....	68
12.	Referencias	69
13.	Anexos.....	85

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 5.1 <i>Capacidad de adsorción de carbón activado preparado a partir de residuos sólidos.</i>	19
Tabla 5.2 <i>Capacidad de adsorción de residuos agrícolas sin tratamiento.</i>	19
Tabla 5.3 <i>Colorantes comunmente usados en la industria</i>	20
Tabla 5.4 <i>Clasificación de los poros del carbón.</i>	22
Tabla 6.5 <i>Reactivos utilizados en el desarrollo experimental</i>	31
Tabla 6.6 <i>Equipos utilizados en el desarrollo experimental.</i>	31
Tabla 6.7 <i>Material de laboratorio utilizado en el desarrollo experimental</i>	32
Tabla 7.8 <i>Número de muestras, concentraciones y ph objeto de estudio</i>	32
Tabla 7.9 <i>Reactivos y cantidades para la preparación de las soluciones</i>	38
Tabla 9.10 <i>Resultados obtenidos en la determinación del área superficial</i>	44
Tabla 9.11 <i>Resultados de humedad</i>	44
Tabla 9.12 <i>Resultados material volátil</i>	44
Tabla 9.13 <i>Resultados cenizas</i>	45
Tabla 9.14 <i>Porcentajes de humedad, material volátil, cenizas.</i>	45
Tabla 9.15 <i>Resultados de la estandarización de las soluciones “stock” carbón 300°C.</i>	46
Tabla 9.16 <i>Resultados de la estandarización de las soluciones “stock” carbón 500°C.</i>	46
Tabla 9.17 <i>Resultados de las estandarizaciones finales</i>	47
Tabla 9.18 <i>Cantidad de solución en meq/g del carbón</i>	48
Tabla 9.19 <i>Cuantificación de los grupos funcionales superficiales orgánicos</i>	49
Tabla 9.20 <i>Parametros de los modelos de freundlich y langmuir</i>	64
Tabla 13.21 <i>Resultados contenido de humedad</i>	93
Tabla 13.22 <i>Resultados material volátil</i>	93
Tabla 13.23 <i>Resultados cenizas</i>	94
Tabla 13.24 <i>Datos para la obtención de curva de calibración</i>	94
Tabla 13.25 <i>Datos experimentales pH 6 - para carbón polvo 300°C.</i>	95
Tabla 13.26 <i>Datos experimentales pH 9 - para carbón polvo 300°C</i>	95
Tabla 13.27 <i>Datos experimentales pH 12 - para carbón polvo 300°C</i>	95
Tabla 13.28 <i>Datos experimentales pH 6 - para carbón granular 300°C</i>	95
Tabla 13.29 <i>Datos experimentales pH 9 – carbón granular 300°C</i>	96
Tabla 13.30 <i>Datos experimentales pH 12 – carbón granular 300 °C</i>	96
Tabla 13.31. <i>Datos experimentales pH 6 – carbón polvo 500°C</i>	96
Tabla 13.32. <i>Datos experimentales pH 9 – carbón polvo 500°C</i>	96
Tabla 13.33. <i>Datos experimentales pH 12 – carbón polvo 500°C</i>	97
Tabla 13.34. <i>Datos experimentales pH 6 - carbón granular 500°C</i>	97
Tabla 13.35. <i>Datos experimentales pH 9 - carbón granular 500°C</i>	97
Tabla 13.36. <i>Datos experimentales pH 12 – carbón granular 500°C</i>	97
Tabla 13.37. <i>Datos experimentales pH 6 – carbón polvo 300°C</i>	98
Tabla 13.38. <i>Datos experimentales pH 9 – carbón polvo 300°C</i>	98
Tabla 13.39. <i>Datos experimentales pH 12 – carbón polvo 300°C</i>	98
Tabla 13.40. <i>Datos experimentales pH 6 – carbón granular 300°C</i>	98
Tabla 13.41. <i>Datos experimentales pH 9 - carbón granular 300°C</i>	99
Tabla 13.42 <i>Datos experimentales pH 12 - carbón granular 300°C</i>	99
Tabla 13.43. <i>Datos experimentales pH 6 - carbón polvo 500°C</i>	99
Tabla 13.44. <i>Datos experimentales pH 9 - carbón polvo 500°C</i>	99

Tabla 13.45. <i>Datos experimentales pH 12- carbón polvo 500°C</i>	100
Tabla 13.46. <i>Datos experimentales pH 6 - carbón granular 500°C</i>	100
Tabla 13.47. <i>Datos experimentales pH 9 - carbón granular 500°C</i>	100
Tabla 13.48. <i>Datos experimentales pH 12 - carbón granular 500°C</i>	100

Figuras

Figura 1. <i>Clasificación de poros</i>	23
Figura 2. <i>Forma de los poros</i>	24
Figura 3. <i>Estructura química del Azul Marino Directo (AMD)</i>	26
Figura 4. <i>Conceptos de adsorción</i>	27
Figura 5. <i>Pasos de investigación experimental</i>	31
Figura 6. <i>Procedimiento preparación del carbón</i>	35
Figura 7. <i>Clasificación de poros</i>	36
Figura 8. <i>Cáscaras de bamama a 300°C</i>	36
Figura 9. <i>Cáscaras de banana a 500°C</i>	36
Figura 10. <i>Montaje de las muestras en el agitador</i>	41
Figura 11. <i>FTIR para hacer análisis infrarrojo</i>	42
Figura 12. <i>Ensayos de adsorción y estudios por lotes</i>	44
Figura 13. <i>Medición absorbancia</i>	44
Figura 14. <i>Estandarización soluciones</i>	48
Figura 15. <i>Infrarrojo</i>	50
Figura 16. <i>Curva de calibración</i>	51
Figura 17. <i>Efecto de la concentración inicial sobre el porcentaje de remoción polvo 300°C.</i>	52
Figura 18. <i>Capacidad de remoción en el carbón polvo 300°C a pH 6, 9,12.</i>	52
Figura 19. <i>Efecto de la concentración inicial sobre el porcentaje de remoción polvo granular 300°C.</i>	53
Figura 20. <i>Capacidad de remoción del carbón granular de 300°C a pH 6, 9,12.</i>	54
Figura 21. <i>Efecto de la concentración inicial sobre el porcentaje de remoción polvo 500°C.</i>	55
Figura 22. <i>Capacidad de remoción en el carbón polvo 500°C a pH 6,9,12</i>	55
Figura 23. <i>Efecto de la concentración inicial sobre el porcentaje de remoción carbón 500°C.</i>	56
Figura 22. <i>Capacidad de remoción en el carbón granular 500°C a pH 6,9,12.</i>	56
Figura 25. <i>Comparación entre los datos experimentales carbón polvo 300°C a pH 6, 9, 12, y la ecuación linealizada del modelo de Freundlich</i>	58
Figura 26. <i>Comparación entre los datos experimentales carbón granular 300°C, pH 6, 9, 12 y la ecuación linealizada del modelo de Freundlich</i>	59
Figura 27. <i>Comparación entre los datos experimentales carbón polvo 500°C, pH 6, 9, 12 y la ecuación linealizada del modelo de Freundlich.</i>	59
Figura 28. <i>Comparación entre los datos experimentales carbón granular 500°C, pH 6, 9, 12 y la ecuación linealizada del modelo de Freundlich</i>	60
Figura 29. <i>Comparación datos experimentales carbón polvo 300°C pH 6, 9, 12, entre la ecuación linealizada del modelo de Langmuir</i>	61
Figura 30. <i>Comparación datos experimentales carbón granular 300°C pH 6 entre la ecuación linealizada del modelo de Langmuir.</i>	62
Figura 31. <i>Comparación datos experimentales carbón polvo 500°C pH 6,9,12, entre la ecuación linealizada del modelo de Langmuir.</i>	62
Figura 32. <i>Comparación datos experimentales carbón granular 500°C pH 6, 9, 12, entre la ecuación linealizada del modelo de Langmuir.</i>	63

1. Introducción

La contaminación de los sistemas acuáticos se ha convertido en un área de investigación de gran interés, debido al impacto medioambiental que produce el vertimiento de aguas residuales proveniente de las industrias minera, agrícola y textil, entre otras fuentes (Huertas & Sanches, 2009). El agua residual de la industria textil en particular se caracteriza por contener un alto grado de toxicidad por diferentes agentes, entre los cuales resaltamos los agentes químicos, Alquifenoles, el Ftalato, los colorantes, compuestos agro-estamínico, Plerfluorados, Clorobencenos, Clorofenoles, entre otros, estos son capaces de afectar a los organismos acuáticos, los cuales realizan procesos fotosintéticos, constituyendo la base de los productores primarios quienes garantizan los flujos de energía a niveles tróficos (Pérez O, 2016) (Barrios, Gaviria, & al, 2017) (Universidad de Palermo, 2015). La percepción pública de la calidad del agua está altamente influenciada por el color, puesto que se reconoce de forma muy sencilla y se ha reportado que la presencia de cantidades mínimas de algunos colorantes (menos de $1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) es altamente visible e indeseable (Rafatullah & Sulaiman, 2010). Los colorantes sintéticos en aguas residuales no pueden ser eficientemente removidos por métodos tradicionales según reportan muchos investigadores, porque la adsorción de los mismos con sólidos (adsorbente) se considera una técnica eficiente y económica para su eliminación (Catellar, 2013) (Castellar & Zambrano, 2013).

Teniendo en cuenta los diferentes métodos o técnicas para la eliminación de colorantes sintéticos en aguas residuales, surge una nueva propuesta, un producto adsorbente (carbón) de alta calidad, económicamente viable y que puede ser considerado hasta ahora como una técnica eficaz. La literatura muestra que el carbón tiene mejores perspectivas sobre todas las otras técnicas de tratamiento (Barrios & Gaviria, 2017).

El carbón en sus diferentes formas juega un papel importante en muchas industrias, la mayoría de los carbones industriales son producidos a partir de materiales carbonosos naturales como huesos de frutas, lignitos, carbón de hulla, turba etc., a los cuales se les aplica un tratamiento térmico en ausencia de aire a temperaturas inferiores a 900°C (Primera, Colpas, & Meza, 2011). La utilización de carbones para remover colorantes y otros contaminantes de aguas residuales es un campo amplio de trabajo, y se considera como parte de tratamientos terciarios (Vilaseca, 2015). Teniendo en cuenta nuestro proceso de formación académica en Ingeniería Ambiental en la Universidad de la Costa, y adquiriendo responsabilidad directa con el ambiente, se propuso fabricar un material adsorbente (carbón) de bajo costo con cáscaras de bananas maduras, para evaluar si este cumplía las condiciones para remover un colorante de gran uso en la industria textil, Azul Marino Directo (AMD), el cual contamina directamente las fuentes de agua al ser vertido como resultado del proceso.

Teniendo como herramienta la Química Verde para desarrollar esta propuesta de investigación se hace uso de sus principios, que apuntan al diseño de productos que reduzcan o eliminen sustancias contaminantes en un medio. Se busca direccionar el diseño, fabricación y utilización de este desecho orgánico (cáscaras de bananas maduras), buscando aportar una opción para proponer una solución sostenible a la remoción de colorantes en aguas residuales, con base en trabajos previos que utilizan como base los principios de la Química Verde (Pajaro & Olivero, 2011).

La Química Verde se basa en 12 principios, de los cuales en esta investigación se aplican los siguientes:

- Realizar síntesis química menos peligrosa. Consiste en elaborar procesos que generen la mínima toxicidad e impacto ambiental.

- Diseñar productos y compuestos menos peligrosos. Los productos químicos se deben diseñar con una toxicidad mínima.
- Utilizar materias primas renovables. Los materiales de partida utilizados deben proceder de fuentes renovables, en la medida en que sea económica y técnicamente factible.
- Prevenir accidentes. Diseñar los procesos químicos, utilizando métodos y sustancias que reduzcan los accidentes (emisiones, explosiones, incendios, entre otros), y minimizar los daños cuando se produzca un accidente (Morales & Martinez, 2011) (Altava & Burguete, 2013).

2. Planteamiento del problema

La industria textil consume grandes cantidades de agua, energía y sustancias químicas, y a su vez generan gran cantidad de agua residual. Estos efluentes poseen altas concentraciones de colorantes, contaminantes orgánicos, compuestos tóxicos, entre otros (Tinoco & Medina, 2012). Uno de los principales contaminantes de la industria textil son los colorantes, uno de ellos es el Azul Marino Directo (AMD), el cual se escogió para esta investigación porque se utiliza en la industria nacional en cantidades significativas para el teñido de pantalones tipo jean. Éste posee propiedades de solubilidad en agua y poca degradación en condiciones ambientales normales (Orozco, 2018). El vertimiento de este colorante sin previo tratamiento genera disminución de la actividad fotosintética, ocasionando interferencia en la penetración de la luz e inhibición de la acción de los agentes oxidantes (Plaza, 2016).

En el tratamiento de los efluentes de la industria textil se utilizan diferentes métodos, tales como filtración, floculación, oxidación química, entre otros (Moreno & Figueroa, 2012), pero no

son suficientes para eliminar el impacto ambiental causado, puesto que la mayoría de estas técnicas dejan residuos como lodos que son indispensables tratar (Gaviria, 2015) (Khehra, 2006) (Barrios & Gaviria, 2015). En este trabajo se propone la remoción del AMD con un material adsorbente alternativo, carbón obtenido a partir de las cáscaras de bananas maduras, como una nueva opción a futuro, en el tratamiento terciario de dichos efluentes, el cual disminuye costos e impacta favorablemente el ambiente al reducir la acumulación de desechos orgánicos y promover su reutilización, por tal razón se formula la siguiente pregunta: ¿Es posible obtener un material adsorbente a partir de las cáscaras de bananas maduras, que remueva el colorante AMD en solución acuosa y se constituya en una alternativa de tratamiento terciario de la industria textil?

3. Justificación

En Colombia para el año 2013, una compañía de textiles que opera en la ciudad de Medellín, realizó una descarga de coloración azul al río, generando una denuncia pública mostrada como noticia. En la actualidad se siguen presentando estos casos, el más reciente registrado en el río Yumbo en el Valle del Cauca, donde la población evidenció una coloración azul en dicho río (El espectador, 2013) (minutos, 2019). Casos como estos se han registrado a lo largo del tiempo en diferentes ciudades del país, puesto que en algunas ocasiones se vierten aguas contaminadas con metales pesados, compuestos inorgánicos, hidrocarburos, colorantes y pigmentos, entre otros, llamando la atención de las comunidades y de las autoridades ambientales competentes. Joan Arroyave y Luis Garcés, afirman en su artículo que conlleva grandes efectos ambientales la presencia de colorantes en cuerpos de agua, puesto que obstaculizan la difusión del oxígeno y la luz, al mismo tiempo provocan un aspecto antiestético, además de ser compuestos persistentes en el ambiente (Arroyave & Garcés, 2008) (SAWYER & McCARTY, 2001).

Actualmente para el tratamiento de estos efluentes contaminados por colorantes, se relacionan los procesos de adsorción, sistemas de filtración, técnicas de oxidación y resinas de intercambio iónico; estos tratamientos convencionales al final del proceso generan lodos y el costo asociado al tratamiento de los mismos, es alto (Gaviria, 2015). Se pueden definir tres tipos de tecnologías para el tratamiento de los efluentes contaminados, las cuales se pueden agrupar dentro de las categorías químicas con porcentajes de remoción cercanos a los 100%, biológicas con porcentajes de 80% y 100% y físicas con porcentajes de remoción entre 90% y 98% (Khehra, 2006) (Barrios & Agudelo, 2014). Aunque los porcentajes más altos se han reportado por las categorías química y biológica, para la primera el costo de aplicación es muy elevado y algunas de las técnicas utilizadas generan residuos que luego son indispensable tratar, mientras que la segunda categoría mencionada los procesos requieren trabajar a bajas velocidades, por lo tanto incrementa sustancialmente los tiempos de tratamiento, por tal razón remover con materiales adsorbentes puede generar grandes ventajas, puesto que es de bajo costo y alcanza porcentajes de remoción del 90% al 98%. (Barrios & Agudelo, 2014).

Los impactos ambientales asociados al caso presentado anteriormente (y que no es la primera vez que se reportan en Colombia), han causado gran interés en grupos ambientalistas e investigadores, que han empezado a buscar alternativas para remediar situaciones como ésta desde la fuente, por tal razón el estudio de la capacidad de adsorción de un carbón de origen orgánico, frente a numerosos adsorbatos orgánicos e inorgánicos presentes en medio acuoso, tendría gran interés científico y tecnológico, debido a que físicamente se trata de un material sólido, poroso, versátil, relativamente estable y con alta área superficial (Rosales, 2017). Pero esencialmente, es una nueva alternativa que contribuye al desarrollo sostenible, por medio de esta técnica se puede ayudar a garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el

saneamiento para todos (ODS 6) (PNUD, 2012), debido a que residuos agroindustriales tales como, las palma de aceite, viruta, aserrín, bambú, algas, hojas de pino, tallos de canola y quitosano, entre otros, hasta minerales como lignito, magnetita, carbón activado, bentonita, presentan mejores capacidades de remoción de colorantes que las técnicas convencionales (Barrios & Gaviria, 2015).

Utilizar materia prima catalogada como residuos orgánicos para elaborar nuevos productos, contribuye a una reducción de la sobre carga en los rellenos sanitarios y promueve su uso en el desarrollo de tecnologías más limpias y amigables con el medio ambiente. Por eso la Ingeniería y afines, están buscando nuevas estrategias, técnicas y productos, que permitan enmendar el daño causado por la contaminación ambiental y evitar que las consecuencias permanezcan por mucho tiempo. Por tal razón la Química Verde, se presenta como una rama de la Química que propende por la búsqueda de productos y procesos amigables con el medio ambiente, basada en 12 principios de fácil recordación, pero de aplicación profunda que permite generar proyectos como este en el cual se proponen utilizar un “desecho orgánico” (cáscaras de bananas maduras), las cuales fueron recolectadas de restaurantes y fruterías aledañas a la Universidad de la Costa – CUC, como un producto capaz de adsorber el colorante azul marino directo, en solución acuosa.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad de adsorción del colorante Azul Marino Directo (AMD) en solución acuosa con carbón obtenido de cáscaras de bananas maduras.

4.2. Objetivos específicos

- Elaborar un material adsorbente (carbón) a partir de cáscaras de bananas maduras por tratamiento térmico y determinar sus propiedades fisicoquímicas.
- Analizar la capacidad de adsorción del colorante AMD con el material carbonoso obtenido por tratamiento térmico.
- Correlacionar los resultados experimentales al modelo de isothermas de adsorción Freundlich o Langmuir y determinar a cuál modelo se ajusta el valor del coeficiente lineal R^2 .

5. Marco teórico

5.1. Antecedentes

Al pasar de los años se han utilizado diferentes métodos para la remoción de colorantes, pero el tratamiento con carbón activado es uno de los más manejados, debido a la gran eficiencia que posee para realizar la remoción; la Agencia de Protección del Medio ambiente cataloga a los carbones activados como una de las mejores tecnologías para la remoción de colorantes (Derbyshire & Andrews, 2001). Sin embargo, el alto costo que implica el tratamiento de los mismos ha llevado a la búsqueda de otros materiales adsorbentes alternativos más económicos. Es así como se ha iniciado el estudio de Adsorbentes económicos y eficaces, encontrándose materiales naturales, biosorbentes, residuos de la industria y del área agrícola (Nevin & Vahdettin, 2000) (Nasser & Hendway, 2001). En las tablas 1 y 2 se muestran algunos ejemplos de precursores de carbón con la respectiva adsorción para distintos colorantes:

Tabla 1

Capacidad de adsorción de carbón activado preparado a partir de residuos sólidos.

Residuo	Colorante	qm (mg/g)
Elote de mazorca	Azul ácido	1060
Elote de mazorca	Rojo básico	942
Vaina de pino	Azul ácido	1176
Vaina de pino	Azul básico	1119
Cascarilla de arroz	Amarillo Acido	86
Cascarilla de arroz	Azul ácido	50
Paja	Azul básico	19

Nota: Los residuos agrícolas tienen una gran ventaja, puesto que se producen en grandes cantidades y son bastante económicos. Fuente: (Ruey-Shin & TsengFeng-Chin, 2001) (Tseng, Wu, & Juang, 2003) (Malik, 2003) (Mohamed, 2004) (Nagarethinam & Meenakshi, 2001).

Tabla 2

Capacidad de adsorción de residuos agrícolas sin tratamiento.

Residuo	Colorante	qm (mg/g)
Corteza de pino	Azul básico	168
Corteza de pino	Azul ácido	14.4
Cáscaras de banana	Azul de metileno	21
Cáscaras de naranja	Naranja de metilo	20

Nota: Ante estas experiencias, considerar un carbón elaborado a partir de cáscaras de bananas maduras para remover un colorante, parece muy prometedor. Fuente: (McKay, 2003)(Gurusamy & Lai Yi Ling, 2008).

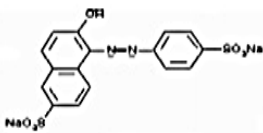
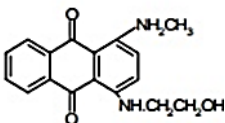
5.2. Adsorción

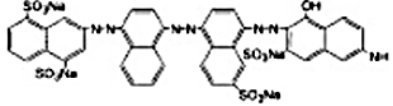
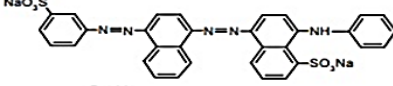
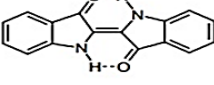
La adsorción es el resultado de la atracción entre las moléculas de la superficie del sólido y las del fluido, en los procesos de adsorción, al soluto retenido se le denomina adsorbato y el sólido sobre el que se retiene es el adsorbente, como adsorbentes se utilizan sólidos que presentan una gran superficie de contacto, y en general suelen ser porosos (Garces & Coavas, 2012), esta técnica se puede emplear con el adsorbente pulverizado o granulado, se dice que a menor tamaño de partícula mayor es la adsorción (Flores, Navarro, & Ramos, 2005).

5.3. Colorantes

Un colorante es un compuesto que al aplicarse a un sustrato (fibra textil, papel, cuero, material plástico o alimento), le confiere un color más o menos permanente (Ramos, 2010). Un colorante se aplica en solución o dispersión y el sustrato debe tener cierta afinidad para biosorberlo (Ramos, 2010). Los colorantes en general son solubles en el medio en que se aplican o en el producto final. Existen dos métodos de clasificar colorantes, el primero está basado en la constitución química de los sistemas, cromóforos, y el segundo en base a los métodos de aplicación. El color depende de los grupos cromóforos, que son la parte visible de la molécula coloreada, responsable de la absorción de luz en un determinado rango de longitud de onda. La afinidad de las fibras es dada por el grupo auxocrómico, conformado por un grupo de átomos ligados al cromóforo que modifica la afinidad de este para absorber la luz (Ramos, 2010). El color en el agua residual proviene del proceso productivo de las industrias de alimentos (fermentaciones), papeleras, textil, curtiembres, de los cuales, los colorantes utilizados en las textiles, un 2% es descargado directamente a los efluentes, y el 10% de los colorantes es perdido durante el proceso de coloración textil. En la Tabla 3 se enuncian los colorantes más utilizados en la industria textil, la razón por la que son utilizados es porque incluyen características como las diferentes tonalidades, la gama de brillante que ofrecen, facilitan los métodos de aplicación y permiten una rápida humectación de la prenda (Pearce & Lloyd, 2003).

Tabla 3
Colorantes comúnmente usados en la industria

Colorante	Estructura	No. del color	C.I.	Tipo de colorante
Naranja S		Naranja directo 26		Diazo
Azul Disperso		Azul disperso 3	61505	Antraquinona

Colorante	Estructura	No. del color	C.I.	Tipo de colorante
Azul supra		Azul Directo 71		Diazo
Azul ácido		Azul ácido	26360	Diazo
Índigo		Azul 2		Indigoide

Nota: Constitución de los colorantes usados en la industria textil. Fuente: (Kusvuran, et al. 2005) (Color index. The society of Dyers and colourists). Adaptado por: Sharon Castro Muñoz y Gabriela Peluffo Foliaco.

5.4. Carbón de cáscaras de bananas maduras.

Colombia es un país donde los productos agrícolas son uno de los principales pilares de la economía nacional. La agricultura colombiana está liderada por productos, como el café, las flores, el aceite de palma, el maíz y las bananas (*Musa paradisiaca L.*), este último es uno de los productos agrícolas más consumidos, especialmente por la población de los países tropicales (Torres & Andrade, 2015). El cultivo de bananas en Colombia ha sido un sector tradicional de economía campesina, de subsistencia para pequeños productores (Torres & Andrade, 2015). Por ser un producto de consumo diario y masivo, las bananas maduras se pueden conseguir fácilmente, y así mismo sus cáscaras se convierten en un residuo o desecho orgánico de volumen considerable. Un estudio publicado en la revista *Industrial & Engineering Chemistry Research* en el año 2011, indica que los desechos que quedan de la desintegración y deterioro de frutas son útiles disolviendo contaminantes que la industria deja en sus aguas residuales, y que además lo hacen de forma más amigable con el medio ambiente, que los compuestos químicos que se venían usando hasta ahora, en este estudio, realizado por científicos brasileños del instituto de

Biociencias de Botucatu dirigidos por Gustavo Castro, el equipo desecó y molió las cáscaras de las bananas maduras, para luego verter el polvo resultante en frascos de agua que contenían distintas concentraciones conocidas de metales, indicando que este residuo con un mínimo tratamiento es capaz de lograr una gran remoción de contaminantes, obteniendo porcentajes de remoción similares a los de los tratamientos convencionales (Castro, Castro, & et al, 2011) (Artima, 2011).

5.5. Propiedades de un carbón

Las propiedades de un carbón, varían de acuerdo al volumen de los poros, la porosidad, y el área superficial específica; los carbones se caracterizan por ser extremadamente porosos, lo que permite oclusión de otros minerales dentro de su estructura. Por eso una de las propiedades que caracteriza un carbón es la porosidad, esta se define como el cociente del volumen total del poro al volumen evidente de partícula o de polvo, y la porosidad total, es el cociente entre el volumen de poro vacío y el volumen de poro ocupado por el sólido (Hernández & Velasco, 2003). El área superficial específica, es igual de importante que la porosidad, esta expresa la suma del área geométrica macroscópica e interna de una partícula de un material sólido (Hernández & Velasco, 2003). En la tabla 4 se puede ver la clasificación de los poros de un carbón teniendo en cuenta el radio de poros, para tener una idea más clara de la diferencia entre ellos se puede observar en la figura 1 y 2 se puede apreciar las diferentes formas de poros existentes.

Tabla 4
Clasificación de los poros del carbón

DENOMINACIÓN DEL PORO	RADIO DE POROS (nm)
Microporos	1
Mesoporo	1 – 25
Macroporo	25

Fuente: (Enterría, 2013)

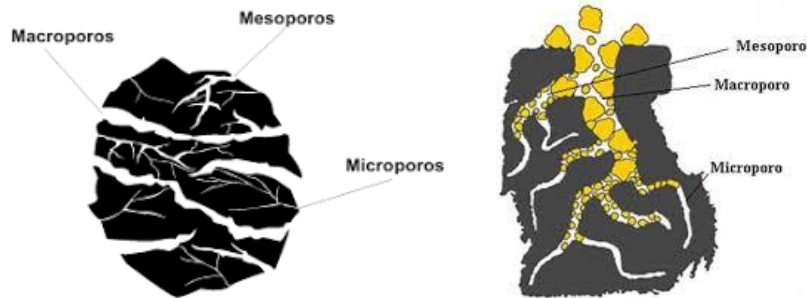


Figura 1. Clasificación de poros. Fuente: (Mesa & Branch, 2009) (Enterría, 2013)



Figura 2. Forma de los poros. Fuente: (Gonzales, 2012)

Además de lo anterior, existe una influencia significativa del pH sobre la cinética de adsorción, la química de superficie de los materiales carbonosos está determinada por el carácter básico o ácido de su superficie, lo cual hace que éstos actúen como sitios activos con una fuerte tendencia a “quimiabsorber” ciertos elementos dependiendo de su clasificación, su comportamiento ácido se atribuye a la presencia de grupos carboxilo (RCOOH), anhídrido carboxílico ($(\text{RCO})_2\text{O}$), lactona (RCOOR), hidroxilo (ROH) de carácter fenólico o grupos carbonilo reactivos (RCO , R hace referencia a la matriz carbonosa), el método usado en la caracterización y cuantificación de estos grupos funcionales es el Böehm, donde se emplean bases de diferentes fuerzas y se asume que los grupos ácidos débiles no interactúan con bases débiles (Castilla & Lopez-Ramon, 2001) (Briceño & Guzmán, 2007). Las condiciones ácidas en general, favorecen la remoción de grupos de colorantes ácidos, directos, reactivos y dispersos, mientras que los medios alcalinos, incrementan la remoción de colorantes básicos. En el caso de los colorantes que en solución o en

medio acuoso presentan valores de pH alcalinos, los procesos más eficientes relacionan como adsorbente materiales de origen vegetal con porcentajes de remoción de color mayor al 90% y hasta el 98% respecto a otros materiales adsorbentes (Barrios & Agudelo, 2014).

5.6. La Química Verde

Es una disciplina relativamente reciente, o en un sentido más amplio, es una nueva forma de acercarse a la química de acuerdo al enfoque de la sustentabilidad, la cual se aplica usando principios bien definidos mediante la integración de los conocimientos de muchas disciplinas, tales como, la química, la biología, las ciencias sociales y la ingeniería (Derecho internacional, 2019) (Frers, 2016). Con esta perspectiva se iniciaron programas y proyectos que trabajarían para construir nuevas alternativas con el objetivo de enfrentar los problemas ambientales y al mismo tiempo, mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales para las generaciones presentes y futuras, fue en los 90's que se empezó a hablar de Química Verde desde la Environmental Protection Agency (EPA) con el Dr. Paul Anastas (Osorio & Di Salvo, 2008). En pocas palabras la Química Verde es el diseño de productos químicos y procesos que reducen o eliminan el uso o la generación de sustancias peligrosas, se aplica a lo largo del ciclo de vida de un producto químico, incluido su diseño, fabricación, uso y eliminación final (EPA, 2017). A continuación, se enlistan los doce principios de la Química Verde:

1. Prevenir la generación de residuos: Diseños de síntesis química para prevenir los residuos, es mejor prevenir la generación que tratarlos después de que se forman.
2. Eficiencia atómica: Métodos de síntesis diseñados para aprovechar al máximo la incorporación de todos los materiales utilizados en los procesos.
3. Reducir los residuos, diseñar procesos que minimicen la generación de residuos siempre que sea posible.

4. Diseñar sustancias seguras: las sustancias químicas deben ser diseñadas para garantizar la eficacia de una función específica, pero deben ser de baja toxicidad.
5. Disolventes seguros, uso de disolventes de baja toxicidad.
6. Energía eficiente, optimización del uso de fuentes de energía.
7. Materias primas renovables, siempre que sea técnica y económicamente factible.
8. Reducción de pasos intermedios, evitar innecesaria derivatización (bloqueo de grupo, protección/desprotección) siempre que sea posible.
9. Uso de catalizadores, es preferible el uso estequiométrico de sustancias químicas.
10. Productos de fácil degradación, diseñar material que no persistan en el ambiente.
11. Monitoreo continuo para prevención, usar metodologías analíticas que permitan el monitoreo continuo de los procesos
12. Proceso seguros, seleccionar métodos seguros al potencial de ocurrencia de accidentes químicos (EPA, 2017).

5.7. Azul marino directo (AMD)

El colorante utilizado llamado Azul Marino Directo (AMD), es fabricado por doble nitración de la 4(4-aminofenil) bencenammina, en condiciones alcalinas, respectivamente, con el 4-amino-5-hidroxi-naftaleno-2,7-disulfónico y acoplamiento del ácido 6-amino-4-hidroxi-naftaleno-2-sulfónico, en la figura 3 se presenta su estructura química.

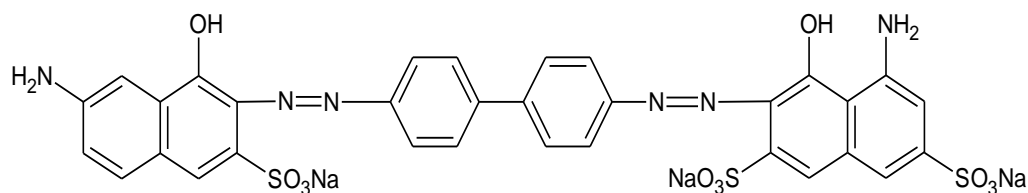


Figura 3. Estructura química del Azul Marino Directo. Fuente: (Rosales, 2017)

El nombre que recibe según The Color Index es *Direct Blue 2. C.I. 22590*, es un colorante Directo con doble grupo “azo”, con una fórmula molecular $C_{32}H_{21}N_6Na_3O_{11}S_3$ y peso molecular de $830,71 \text{ g mol}^{-1}$ (Plazas, 2016).

Es un polvo azul oscuro soluble en agua, tiñéndola de color morado oscuro a negro, la solubilidad del colorante es de 35 g dm^{-3} (85°C), es ligeramente soluble en etanol y en elementos de fibra, se utiliza principalmente para el algodón, viscosa, seda, cuero, entre otros (Rosales, 2017).

5.8. Isotermas de adsorción

La adsorción es un proceso en el cual las moléculas de una fase fluida (líquida o gaseosa) se adhieren de alguna forma a una fase sólida, el material sólido que provee la superficie para la adsorción, es conocido como adsorbente, las especies que son adsorbidas son llamadas adsorbato, la figura 4 muestra los términos usados en teoría de adsorción (J. & Manos, 2010).

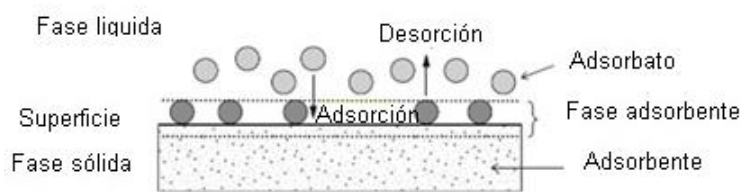


Figura 4. *Conceptos de adsorción*. Fuente: (J. & Manos, 2010)

En la investigación realizada por Jaime Florez, manifiesta que se pueden utilizar dos vías de adsorción, en la primera, el adsorbente debe estar pulverizado para que el área de contacto sea la mayor posible, y en la segunda vía, el adsorbente debe estar granulado para que el fluido pueda percolarse a través de una columna (Flores J. e., 2005).

La adsorción puede efectuarse usando diferentes tipos de adsorbentes, en el fenómeno de la adsorción cuando se establece una afinidad entre el carbón activado y el colorante, este último es

atraído hacia el sólido, mediante diferentes mecanismos, hasta que se alcance un equilibrio entre ambos. Este equilibrio se describe mediante modelos matemáticos, mejor conocidos como isothermas de adsorción, que relaciona la cantidad de colorante removido y la que permanece en disolución cuando se alcanza el equilibrio, a una temperatura constante (HO, 2002). La revisión bibliográfica muestra varios modelos de equilibrio desarrollados para ajustar los datos experimentales a las isothermas de adsorción. Los modelos reportados con mayor uso son los modelos de Freundlich y de Langmuir, razón por la cual se tomaron como referente en esta investigación (Atkins, Paula, & Keeler, 1998).

5.8.1 Isothermas de adsorción de Freundlinch

En este modelo se asume que la superficie del adsorbente es energéticamente heterogénea, conformada por sitios de adsorción de energías características. Está definida por la siguiente ecuación:

$$q = k_f C^{1/n} \quad (1)$$

Linealizando se obtiene:

$$\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

Donde:

k_f = Es la constante de capacidad de adsorción.

n = Constante de intensidad de adsorción (Rivas, 2014).

Definiendo si el carbón en estudio es Freundlich, se podría afirmar con certeza que las posiciones de sorción del mismo tienen distintas afinidades, que no existe quimiosorción y no hay interacción entre moléculas (Oliveira & Alves, 2008) (Freundlich, 1906).

5.8.2 Isotermas de adsorción de Langmuir

Este modelo plantea la adsorción en una sola capa de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- Temperatura constante.
- Adsorción localizada, sólo en sitios definidos (activos) de la superficie.
- La superficie es homogénea y se forma una monocapa, asumiendo que cada sitio de adsorción puede adherir sólo una molécula de adsorbato.
- La energía de adsorción es la misma para todos los sitios de adsorción.
- No existe interacción entre las moléculas adsorbidas.

El modelo está regido por la siguiente ecuación:

$$q_{eq} = \frac{q_{max} b C_{eq}}{1 + b C_{eq}} \quad (3)$$

Linealizando, se obtiene:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} + \left(\frac{1}{b q_{max}} \right) \left(\frac{1}{C_{eq}} \right) \quad (4)$$

Dónde:

q = g de adsorbato/g adsorbente.

q_{max} = máxima cantidad de adsorbato que puede adsorberse por g de adsorbente.

b = constante de Langmuir que indica la afinidad de los sitios activos (zhang & Wang, 2015).

El estudio de este modelo permitirá conocer si la sorción ocurre exclusivamente en sitios específicos localizados sobre la superficie del sorbente, o si únicamente una molécula del sorbato se une sobre cada sitio (Oliveira & Alves, 2008) (LANGMUIR, 1916).

5.8.3. Isoterma de adsorción BET

En la teoría de BET (Brunauer, Emmet y Teller) se amplía la teoría del modelo de monocapa de Langmuir mediante la introducción de ciertas suposiciones enunciadas a continuación, que incluyen adsorción en multicapa y la condensación capilar:

- La adsorción en la primera capa tiene lugar sobre sitios en la superficie de energía homogénea.
- Las moléculas adsorbidas en la primera capa actúan como sitios de adsorción de la segunda capa y así sucesivamente, lo que en el caso más simple se aproxima a un espesor infinito conforme la presión de vapor P_v , se aproxima a la presión de vapor de saturación del líquido, P^0 (presión de vapor de líquido puro).
- Las características de condensación y evaporación son idénticas en todas las capas excepto en la primera. El calor de adsorción en la segunda y demás capas son iguales al calor de condensación del gas (DH_v) (Timmerman & Chirife, 2001) (Galindo, 2010).

$$\frac{P/P^0}{a(1 - \frac{P}{P^0})} = \frac{1}{a_m C} + \frac{C - 1}{a_m C} \frac{P}{P^0} \quad (5)$$

a = cantidad de soluto adsorbida.

a_m = adsorción máxima, cuando se forma la monocapa.

C = es una constante que relaciona el calor de adsorción de la primera capa y el calor de adsorción de las multicapas (DH_v).

Por medio de este modelo se determinará el área específica superficial total del adsorbente, este modelo es la mejor opción, recomendado por la norma UNE – ISO 9277: 2009 para la determinación del área superficial de los sólidos (Timmerman & Chirife, 2001) (Galindo, 2010).

6. Metodología

6.1. Tipo de investigación

Para el desarrollo y cumplimiento satisfactorio de los objetivos propuestos se realizó una investigación cuantitativa de tipo experimental en los laboratorios de la Universidad de la Costa (CUC), puesto que se manipuló una variable experimental no comprobada, en condiciones controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular (Tamayo y Tamayo, 2003). Para llevar a cabo esta investigación se siguieron una serie de pasos:

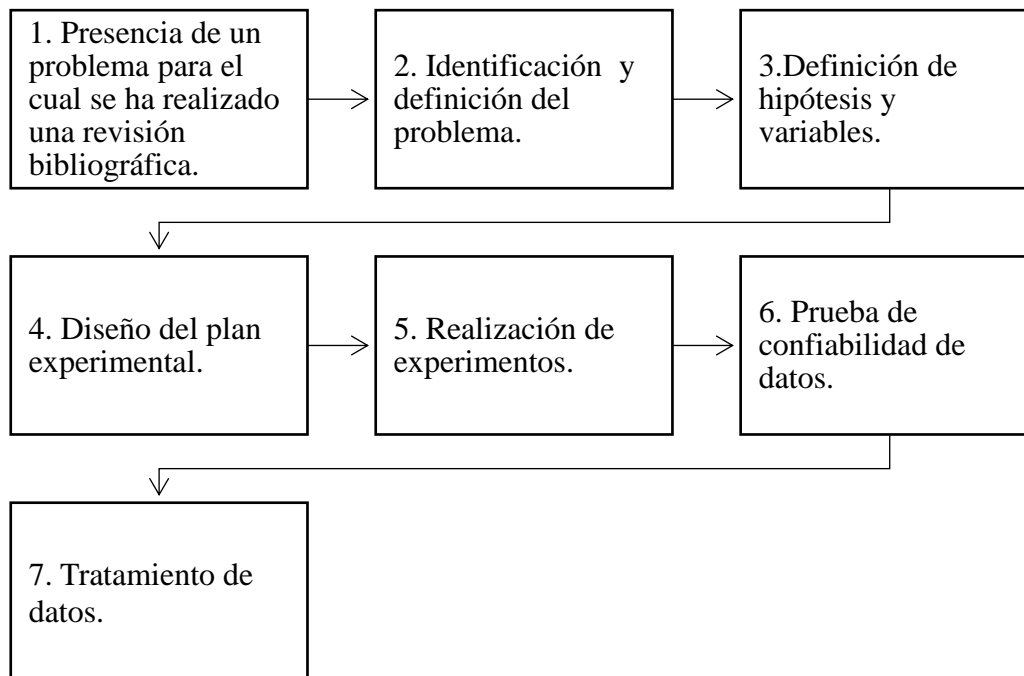


Figura 5. Pasos Investigación experimental. Fuente: Autores.

6.2. Materiales

6.2.1 Reactivos

En la tabla 5, se presentan los reactivos utilizados para las diferentes pruebas realizadas en la caracterización de los carbones.

Tabla 5

Reactivos utilizados en el desarrollo experimental

Ensayo böehm	Ensayo Número de Yodo	Ensayo Adsorción
HCL	HCL 5%	Azul marino directo
NaOH	Yodo resublimado	NaOH
NaHCO ₃	Yoduro de potasio	HCL
Na ₂ CO ₃	Yodato de potasio	
FHK	Tiosulfato de sodio	
Fenolftaleína		

Fuente: Autores

6.2.2 Equipos y materiales

La tabla 6 y 7, enuncia los equipos y materiales utilizados para el desarrollo de las diferentes pruebas experimentales.

Tabla 6

Equipos utilizados en el desarrollo experimental

Equipo	Descripción
Espectrofotómetro	Marca: HACH Referencia: DR 3900
Agitador mecánico	Marca: Clay Adams Modelo No: 1213
Medidor de pH	Marca: HACH Referencia: HQ 40d
Mufla	Marca: THERMOLINE Referencia: Thermo Scientific
Horno	Marca: BINDER Modelo: FD 23
Balanza analítica	Marca: Pionner Referencia: OHAUS
Infrarrojo	Marca: shimadzu Referencia: iraffinity-1s

Fuente: Autores

Tabla 7

Material de laboratorio utilizado en el desarrollo experimental

Material de laboratorio	Descripción
Matraz	25,100,1000, 2000 ml
Morteros	2 unidades
Capsulas de porcelana	15 unidades
Tamices	425 micras y 850 micras
Pipetas volumetricas	1,2,5,10 ml
Beaker	500, 1000 ml
Probeta	100ml 1000ml
Vidrio reloj	2 unidades
Embudos	2 unidades
Frasco lavadors	5 unidades
Bureta	4 unidades
Micropipetas	2 unidades
Papel filtro	100 unidades

Nota: Material utilizado para el desarrollo de las diferentes pruebas experimentales. Fuente: Autores.

7. Metodología experimental

7.1. Diseño del experimento

Primeramente, se determinó el efecto de la concentración inicial del colorante y el pH en la capacidad de remoción, por lo cual en la ejecución del experimento se manipularon dichas variables; la variable de respuesta fue el porcentaje de remoción de AMD.

En la tabla 8 se muestra el número de experimentos realizados teniendo en cuenta diferentes factores, el factor A: los pH utilizados, 6, 9 y 12. Factor B: Concentración. Variables: 10ppm, 60ppm, 120ppm, 300ppm, 400ppm, 500ppm.

Tabla 8

Numero de muestras, concentraciones y pH objeto de estudio.

Experimento	Concentración inicial AMD	pH
1	10ppm	6
2		9
3		12
4	60ppm	6
5		9
6		12
7	120ppm	6
8		9
9		12

10		6
11	300ppm	9
12		12
13		6
14	400ppm	9
15		12
16		6
17	500ppm	9
18		12

Fuente: Autores.

Con el fin de aumentar el grado de precisión del resultado final, se realizaron tres réplicas por cada experimento, se puede observar en la figura 6; dicho procedimiento se realizó para los cuatro tipos de carbones (Granular de 300°C y 500°C – Polvillo 300°C y 500°C).

Para cada experimento se mantuvo una cantidad constante de adsorbente y volumen de solución a tratar de 0,2 g y 20 ml respectivamente, se procesaron un total de 216 muestras.



Figura 6. Muestras experimentales. Fuente: Autores

7.2. Preparación del carbón con cáscara de bananas maduras

Para la preparación del carbón con cáscara de banana madura (*Musa Paradisiaca*) previamente se retiraron “los floemas” (parte blanca de las cáscaras) antes de introducirlas al horno, luego se dispusieron de manera homogénea sobre la superficie de una cápsula de porcelana previamente sometida a secado, el tiempo total de tratamiento para el carbón tratado a

una temperatura de 300°C fue de dos horas y para el carbón calcinado a 500°C 1 hora. Luego se almacenó en un desecador hasta temperatura ambiente para someterlas a trituration con un mortero (Ver figura 7 y 8 cáscaras de banana a 300°C y cáscaras de banana a 500°C). Después el material resultante de la trituration se tamizó en condiciones de 425 micras, obteniendo un polvillo, y 850 micras, obteniendo el carbón granulado. Se lavó con agua ultrapura hasta obtener incoloro el sobrenadante y se secó por 1 hora a 100°C el carbón polvillo y el carbón granular. El procedimiento anteriormente descrito se evidencia en la figura 9.



Figura 7. Cáscaras de banana a 300°C Fuente: Autores.



Figura 8. Cáscaras de banana a 500°C. Fuente: Autores



Figura 9. Procedimiento preparación del carbón. Fuente: Autores

7.3.Caracterización fisicoquímica del carbón

7.3.1 Determinación del área superficial

La característica de textura área superficial se determinó a partir de isotermas de adsorción–desorción de nitrógeno a 77 K, aplicando el método de Brunauer, Emmett y Teller (B.E.T). Este análisis se realizó en el laboratorio Química Internacional S.A. Quintal S.A.

7.3.2 Análisis próximo

El contenido de humedad, materia volátil y cenizas, se determinó de acuerdo a la metodología establecida en la norma ASTM D 3173-75. A continuación se discriminan los pasos realizados:

7.3.2.1 Contenido de humedad según la norma ASTM 2867

Se taró un crisol de capacidad de 30mL con tapa y se determinó su masa con una balanza analítica digital, luego se colocó 1,0 gramo de carbón calcinado a 300°C y 500°C polvillo dentro del crisol, se tapó y se introdujo en la mufla donde se sometió a calentamiento a 150°C durante un tiempo de tres horas, se secó y se llevó rápidamente a un desecador hasta temperatura ambiente, se trasladó a la balanza hasta obtener una masa constante a temperatura ambiente. El procedimiento se realizó de manera idéntica para los carbones considerados granulares (Aqueous Phase Isotherm Technique, 2008) (Fonseca & Ruiz, 2008) (ASTM International, 2018).

La humedad se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Pérdida de Peso}}{\text{Peso de muestra}} \times 100 \quad (6)$$

7.3.2.2. Contenido material volátil según la norma ASTM 5832

Primero se taró un crisol de capacidad de 30mL con tapa y se determinó su masa con una balanza analítica digital, luego se colocó 1,0 gramo de carbón dentro del crisol se tapó y se introdujo en la mufla a 950°C por 7 minutos, se dejó secar y se llevó rápidamente a un desecador hasta enfriarse, por último, se determinó la masa del crisol tapado a temperatura ambiente. El procedimiento se realizó de manera idéntica para los carbones considerados granulares. (ASTM

International, 2018). El contenido de material volátil se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Peso perdido (\%)} = \frac{(A - B)}{A} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

A= peso de la muestra inicial en gramos.

B= peso de la muestra luego de calcinar en gramos.

Contenido de material volátil, (%) = C-D

Donde C= peso perdido, % y D= humedad en %

(ASTM International, 2018).

7.3.2.3. Contenido de ceniza según la Norma ASTM 2866.

Se taró un crisol de capacidad 30mL con tapa y se determinó su masa con una balanza analítica digital, luego se colocó 0,1 gramo de carbón dentro del crisol, se tapó y se introdujo en la mufla a 650°C, de 3-16 horas, dependiendo del cambio de la masa al llevar a la balanza analítica digital, se consideró que la incineración había sido completa hasta cuando la masa fue constante. El procedimiento se realizó de manera idéntica para los carbones considerados granulares.

La ceniza se calcula como porcentaje mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Ac} = \frac{F - G}{B - G} \times 100 \quad (8)$$

Donde:

Ac = cantidad de ceniza expresada en porcentaje

G= masa del crisol, en g.

B= masa del crisol con la muestra seca, en g.

F= masa del crisol con la ceniza, en g.
(ASTM International, 2018).

7.3.3 Método Böehm

Los grupos funcionales se cuantificaron parcialmente siguiendo el método de Böehm, para ello se hizo necesario la preparación de soluciones de NaOH, NaHCO₃, Na₂CO₃, y HCl con concentraciones entre 0,05 M y 0,076 M. La preparación consistió en pesar cantidades adecuadas de cada uno de los reactivos teniendo en cuenta su respectiva pureza (D.D, Pines, & Weisz, 1966). En la tabla 9 se presentan los reactivos y cantidades utilizadas para la preparación de las soluciones.

Tabla 9
Reactivos y cantidades para la preparación de las soluciones

Sustancia	Cantidad (g)
NaOH	2.0238
NaHCO ₃	4.2429
Na ₂ CO ₃	5.3261

Fuente: Autores.

Una vez preparadas todas las soluciones anteriores se estandarizaron, lo cual permitio determinar sus concentraciones reales. Los pasos se describen a continuación:

- La solución de NaOH se estandarizó usando ftalato ácido de potasio (FHK) como estándar primario y fenolftaleína como indicador. Se pesó 0.1 g de FHK luego se disolvió en 50 cm³ de agua destilada y por último se le adicionó 3 gotas del indicador fenolftaleína. La concentración de la solución se determinó por la fórmula:

$$M = \frac{m \times \frac{1 \text{ mol FHK}}{204,23 \text{ g FHK}} \times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol FHK}}}{\frac{V}{1000}} \quad (9)$$

Donde:

M= es la molaridad de la solución de NaOH.

m = es la masa de FHK en gramos (g)

V = es el volumen en cm³ de solución de NaOH gastado.

- La solución de NaHCO₃ se estandarizó usando una solución estándar de HCl 0,1 M y como indicador naranja de metilo. Se tomó una alícuota de 15 cm³ de HCl y se le adicionó 3 gotas de indicador de naranja de metilo. La concentración de la solución se calculó con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{C_{HCl} \times V_{HCl}}{V_{NaHCO_3}} \quad (10)$$

Donde:

M= Molaridad de la solución de NaHCO₃.

V_{HCl} = Volumen de la alícuota del ácido en cm³.

C_{HCl}= Concentración molar de la solución estándar.

V_{NaHCO₃}=Volumen en cm³ de NaHCO₃ gastado en la estandarización.

- La solución de Na₂CO₃ se estandarizó usando una solución estándar de HCl 0,1 M y como indicador naranja de metilo. Se tomó una alícuota de 15 cm³ de HCl y se le adicionó 3 gotas de indicador de naranja de metilo. La concentración de la solución se calculó con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{C_{HCl} \times V_{HCl}}{V_{Na_2CO_3}} \quad (11)$$

Donde:

M = Molaridad de la solución de Na_2CO_3 .

V_{HCl} = Volumen de la alícuota del ácido en cm^3 .

C_{HCl} = Concentración molar de la solución estándar.

$V_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$ = Volumen en cm^3 de Na_2CO_3 gastado en la estandarización.

Para la cuantificación de los grupos funcionales orgánicos mencionados, se colocó por separado 0,1 g del carbón en 50 cm^3 de cada una de las soluciones, luego se agitó por 24 horas en un agitador horizontal a una temperatura de 25°C (ver Figura 10). Por último, se filtró, se tomó una alícuota y se le determinó la concentración por los métodos expuestos anteriormente. Este procedimiento se realizó por triplicado.



Figura 10. Montaje de las muestras en el agitador. Fuente: Autores.

El número de sitios ácidos se calculó asumiendo que el NaOH neutraliza a los grupos carboxílicos, lactónicos y fenólicos; el Na_2CO_3 a los grupos carboxílicos y lactónicos, y el NaHCO_3 solo a los grupos carboxílicos. Los sitios activos ácidos son expresados en mEq/g de muestra seca y se determinaron mediante la siguiente ecuación:

$$[\text{mEq/g neutralizados}] = \frac{(C_i - C_f) \times V}{m_{CA}} \times 100 \quad (12)$$

Donde:

C_i y C_f = Concentraciones molares iniciales y finales respectivamente de la solución (N).

V = Volumen de solución utilizado (L).

m_{CA} = Masa de carbón activado en gramos (g).

1000 = Factor de conversión (D.D, Pines, & Weisz, 1966).

7.3.4 Análisis infrarrojo

Entre las técnicas espectroscópicas podemos destacar el infrarrojo. Esta técnica es aplicada generalmente de forma cualitativa, siendo muy útil para estudiar la transformación, generación o destrucción de los grupos funcionales tras distintos tratamientos en los carbones activados (Fransico & al, 2011). El análisis del espectro y la asignación de las bandas se realizan por comparación con compuestos orgánicos puros, las bandas aparecen tabuladas, aunque existen ciertas discrepancias a la hora de asignarlas en la región por parte del investigador. Con el fin de corroborar los grupos funcionales presentes en los dos tipos de carbón a usar, se realizó un análisis infrarrojo en un FTIR (iraffinity-1s shimadzu) equipo que se muestra en la figura 11. Este análisis fue realizado en el laboratorio de biotecnología de la Universidad del Atlántico.



Figura 11. FTIR para hacer análisis infrarrojo. Fuente: Autores

8. Método de medición del azul marino directo

8.1.Elaboración de curva de calibración AMD

La curva patrón de AMD fue determinada usando intervalos de 0 a 10 mg/L, en la cual la absorbancia presentó una respuesta lineal en función de la concentración del colorante. Para la preparación de la solución patrón, se pesaron 0,010 g de AMD y se diluyeron en 100 mL, a partir

de esta solución se prepararon las diluciones pertinentes para tener varios puntos en la curva patrón. Para la preparación de las diluciones de 2, 4, 6, 8 y 10 mg/L se tomaron alícuotas de 2, 4, 6, 8 y 10 mL respectivamente y se aforó con agua destilada hasta 100 mL de solución para todos los casos.

En el anexo 1 se presenta la ficha técnica del colorante AMD que se utilizó para llevar a cabo esta investigación.

8.2. Estudios por lotes

Se preparó una solución stock de 500ppm de Azul Marino Directo (AMD), disolviendo la cantidad requerida en agua destilada, a partir de esta disolución, se prepararon disoluciones de concentraciones de 10 ppm, 60ppm, 120ppm, 300ppm, 400ppm, 500ppm, ajustando el pH a valores de 6, 9, 12 con ácido clorhídrico e hidróxido de sodio diluido.

8.3. Ensayos de adsorción

Para los ensayos de adsorción se tomaron 20 mL de cada una de las diluciones y se les adicionaron 0,2 g de carbón. Las muestras se colocaron en un agitador horizontal a 120 rpm por 8 horas, a temperatura de 23°C, en la figura 12 se puede apreciar el procesamiento de las muestras. Una vez cumplido el tiempo de contacto, las muestras se filtraron y la concentración de la solución final se determinó midiendo la absorbancia en un espectrofotómetro programado a 540nm, esto como referencia de estudios ya realizados (Rosales, 2017). La figura 13 se observa el equipo utilizado para la medición de adsorbancia.



Figura 12. Estudios por lotes y ensayos de adsorción. Fuente: Autores



Figura 13 Medición absorbancia. Fuente: Autores

9. Resultados y discusión

9.1.Determinación del área superficial

Según la metodología Brunauer, Emmett y Teller (B.E.T) se obtuvieron los resultados expresados en la tabla 10.

Tabla 10

Resultados obtenidos en la determinación del área superficial

TIPO DE CARBÓN	ÁREA SUPERFICIAL (B.E.T) (m ² /g)
Polvo 300°C (425 micras)	0.7710
Granular 300°C (850 micras)	0.5463
Polvo 500°C (425 micras)	80.3718
Granular 500°C (850 micras)	73.9774

Nota: Ver anexo 2. Resultados suministrados por el laboratorio Quintal S.A. Fuente: Laboratorio quintal S.A.

Se puede apreciar que la mayor área superficial la poseen los carbones de mayor tratamiento térmico, teniendo mejor resultado el carbón 500°C tipo polvo.

9.2.Análisis próximo

El análisis próximo del carbón entrega información relacionada con características generales del carbón mediante la estimación del contenido de humedad, material volátil y cenizas.

En la siguiente tabla se aprecian los resultados obtenidos para el contenido de humedad.

Tabla 11

Resultados humedad

Tipo de carbón	Peso inicial crisol (g)	Peso con la muestra inicial (g)	Peso final muestra después de calentar (g)
Carbón 300°C polvo	36,89715	37,9094	37,8236
Carbón 300°C Granular	36,9795	37,0814	37,0732
Carbón 500°C Polvo	36,87235	37,8687	37,8052
Carbón 500°C Granular	36,8799	37,8861	37,8052

Fuente: Autores

En la siguiente tabla se aprecian los resultados obtenidos para el material volátil.

Tabla 12

Resultados material volátil

Tipo de carbón	Peso inicial crisol (g)	Peso con la muestra inicial (g)	Peso final muestra después de calentar (g)
Carbón 300°C polvo	36,887	37,9130	37,06285
Carbón 300°C Granular	36,97925	38,0005	37,0754
Carbón 500°C Polvo	36,8742	37,8658	37,0637
Carbón 500°C Granular	36,8829	37,8690	37,3649

Nota: Resultados experimentales para el carbón granular y polvo en contenido de material volátil. Fuente: Autores

En la siguiente tabla se aprecian los resultados obtenidos para el contenido de cenizas.

Tabla 13

Resultados cenizas

Tipo de carbón	Peso inicial crisol (g)	Peso con la muestra inicial (g)	Peso final muestra después de calentar (g)
Carbón 300°C polvo	36,9094	37,0174	36,9253
Carbón 300°C Granular	36,87445	36,9681	36,85215
Carbón 500°C Polvo	36,8720	36,9730	36,8895
Carbón 500°C Granular	36,8712	36,9710	36,8847

Nota: Resultados experimentales para el carbón granular y polvo en contenido de cenizas. Fuente: Autores

En la tabla 14 se puede apreciar los diferentes porcentajes para cada una de las pruebas realizadas a los diferentes carbones.

Tabla 14

Porcentajes de humedad, material volátil, cenizas.

Tipo de carbón	% Humedad	% Material Volátil	% Cenizas
Carbón 300°C polvo	8,47	8,63	14,7
Carbón 300°C Granular	8,04	1,29	23,8
Carbón 500°C Polvo	6,37	12,7	17,32
Carbón 500°C Granular	8,04	41,0	13,5

Nota: Porcentaje de humedad, material volátil y cenizas, para los diferentes carbones de 300°C y 500°C. Fuente: Autores.

De los resultados obtenidos, se puede determinar que el menor porcentaje de humedad se presenta en el carbón con tratamiento térmico de 500°C tipo polvo, la humedad contenida en el interior del carbón se conoce como humedad inherente y es objeto de análisis, la medida cuantitativa del agua es un poco compleja debido a la presencia de la misma en más de una forma dentro de la matriz del carbón (Allardice & Evans, 1978) (Speight, 2013). El material volátil hace referencia a los componentes del carbón (exceptuando la humedad), que son liberados a altas temperaturas, se puede observar que los porcentajes más bajos se presentan en el carbón a 300°C atribuyéndoselo al bajo tratamiento térmico dado (Given & Yarzab, 1978). El contenido de cenizas es el residuo no combustible que permanece después de la quema del carbón, se puede apreciar en la tabla 14 que el porcentaje más alto lo tiene el carbón granular 300°C.

9.3.Método Böehm

9.3.1 Estandarización de las soluciones “stock”

La tabla 15 y 16 muestran los resultados del volumen gastado de las soluciones “Stock” de NaOH, Na₂CO₃ y NaHCO₃, y el valor de la concentración inicial para los carbones de 300°C y 500°C respectivamente.

Tabla 15

Resultados de la estandarización de las soluciones “Stock” carbón 300°C.

Solución	Volumen gastado (mL)	Concentración (M)
NaOH	3,5	0,045
Na ₂ CO ₃	29,5	0,025
NaHCO ₃	28,3	0,053

Fuente: Autores

Tabla 16

Resultados de la estandarización de las soluciones “Stock” carbón 500°C.

Solución	Volumen gastado (mL)	Concentración (M)
NaOH	3,2	0,0459
Na ₂ CO ₃	31,7	0,023
NaHCO ₃	30,93	0,048

Fuente: Autores

9.3.2 Estandarización de las soluciones finales

La tabla 17 muestra los resultados de los volúmenes gastados de las soluciones de NaOH, Na₂CO₃ y NaHCO₃ después de estar en contacto con las muestras del carbón obtenido por calcinación de cáscaras de bananas maduras a 300°C y 500°C con tamaño de partículas de 425 micras (polvo) y 850 micras (Granular). La figura 14 evidencia la estandarización de las soluciones.

Tabla 17.

Resultados de la estandarización de las soluciones finales de los diferentes carbones.

Tipo de carbón		Volumen gastado (ml)				
	Solución	Muestra 1 (ml)	Muestra 2 (ml)	Muestra 3 (ml)	Promedio (ml)	Concentración (M)
Carbón 300°C polvo	NaOH	4,0	3,8	3,8	3,86	0,038
	Na ₂ CO ₃	30,5	30,5	30,2	30,4	0,0242
	NaHCO ₃	30,3	30,2	30,6	30,36	0,0492
Carbón 300°C granular	NaOH	3,8	3,7	3,7	3,73	0,0394
	Na ₂ CO ₃	31,5	30,5	30,8	30,9	0,0242
	NaHCO ₃	30,4	30,3	30,6	30,4	0,0492
Carbón 500°C polvo	NaOH	4,1	3,7	3,2	3,66	0,0401
	Na ₂ CO ₃	34	35,1	33	34,16	0,0219
	NaHCO ₃	30,3	30,2	32	30,8	0,048
Carbón 500°C granular	NaOH	3,6	3,6	3,5	3,56	0,042
	Na ₂ CO ₃	33,5	32	33	32,8	0,0457
	NaHCO ₃	32,6	34,1	32,1	32,9	0,0455

Fuente: Autores



Figura 14. Estandarización de soluciones Fuente: Autores.

9.3.3 Cuantificación de los grupos funcionales ácidos superficiales

La cantidad de solución de NaOH, Na₂CO₃ y NaHCO₃ neutralizada se obtuvo aplicando la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (13)$$

Con base en la ecuación anterior se realizaron las titulaciones dando como resultado los mostrados en la tabla 18.

Tabla 18.

Cantidad de solución neutralizada en mEq/g de los diferentes carbones.

Tipo de carbón	Solución	Concentración	Concentración	Mol/g	mEq/g
		inicial (M)	final (M)	neutralizados	neutralizados
Carbón 300°C polvo	NaOH	0,046	0,040	2,7x10 ³	2,7
	Na ₂ CO ₃	0,0508	0,0492	8 x10 ⁴	0,8
	NaHCO ₃	0,053	0,0492	1,9 x10 ³	1,9
Carbón 300°C granular	NaOH	0,045	0,039	3,25 x10 ³	3,25
	Na ₂ CO ₃	0,050	0,0484	1,2 x10 ³	1,2
	NaHCO ₃	0,053	0,0494	1,8 x10 ³	1,8
Carbón 500°C polvo	NaOH	0,0459	0,0401	2,9 x10 ³	2,9
	Na ₂ CO ₃	0,046	0,0438	1,0 x10 ³	1,1
	NaHCO ₃	0,048	0,048	0	0
Carbón 500°C granular	NaOH	0,0459	0,0412	2,35 x10 ³	2,35
	Na ₂ CO ₃	0,046	0,0457	1,5 x10 ⁻⁴	0,15
	NaHCO ₃	0,048	0,045	1,5 x10 ³	1,5

Fuente: Autores

Para la determinación de grupos funcionales por valoración o titulación es necesaria la neutralización selectiva de cada grupo funcional mediante el uso de disoluciones básicas; un

grupo funcional con un determinado valor de pKa solo puede ser neutralizado por una base con un mayor valor de pKa, haciendo el análisis selectivo para el grupo funcional de interés.

Para esta técnica se usan comúnmente compuestos básicos o ácidos dependiendo del grupo a determinar como: Hidróxido de sodio (NaOH, pKa= 15,74) que sirve para determinar grupos carboxílicos, fenólicos (con un pKa entre 8-11) y lactonas; Carbonato de sodio (Na₂CO₃, pKa= 10,25) para ácidos carboxílicos y fenólicos; Bicarbonato de sodio (NaHCO₃, pKa=6,37) para neutralizar ácidos carboxílicos o grupos fenólicos; Ácido clorhídrico (HCl) para determinar el importe de los grupos hidroxilo (OH) (Ovín, 2003) (González, 2015). No obstante una de las grandes desventajas es que estas titulaciones, solo pueden cuantificar los grupos funcionales próticos (por ejemplo, COOH, OH), y por lo tanto, no se puede aplicar a grupos funcionales apróticos (González, 2015). Asumiendo que el NaOH neutraliza a los grupos carboxílicos, lactónicos y fenólicos; el Na₂CO₃ a los grupos carboxílicos y lactónicos, y el NaHCO₃ sólo a los grupos carboxílicos, se realizaron los cálculos correspondientes para determinar la cantidad en mEq/g de grupos funcionales ácidos. La tabla 19 muestra los resultados de la cantidad de los diferentes grupos funcionales ácidos orgánicos.

Tabla 19

Cuantificación de los grupos funcionales superficiales orgánicos de los diferentes tipos de carbón

Tipo de carbón	Acidez total	Ácidos Carboxílicos	Lactonas	Fenoles
Polvo 300°C	2,7	1,9	0,0	2,05
Granular 300°C	3,25	1,8	0,0	1,9
Polvo 500°C	2,9	0	1,1	1,8
Granular 500°C	2,35	1,5	0,0	2,2

Fuente: Autores.

9.4. Análisis infrarrojo

La grafica 1. Muestra el espectro infrarrojo de los diferentes carbones estudiados en esta investigación.

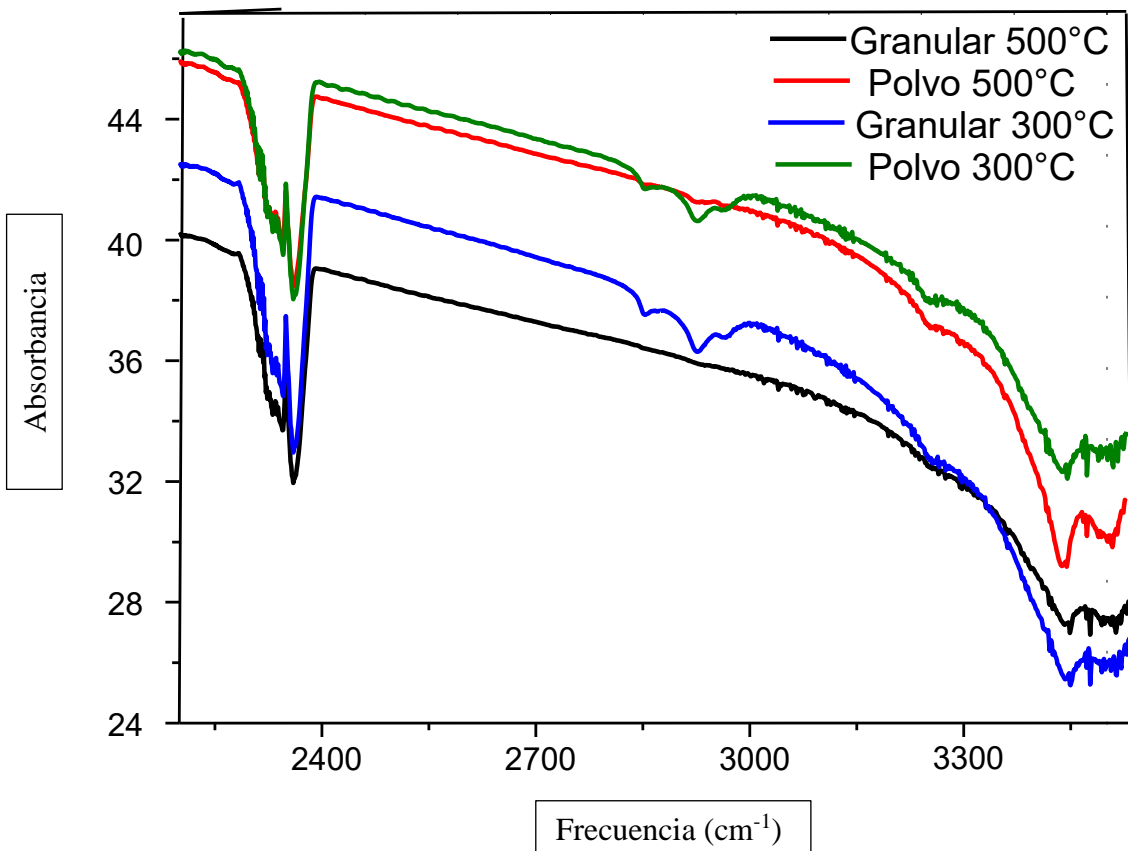


Figura 35 Infrarrojo. Fuente: Autores.

El espectro Infrarrojo de los carbones trabajados durante esta investigación muestra una adsorción intensamente marcada en los valores de 2400 cm^{-1} , la cual se podría relacionar con las cetonas ($\text{C}=\text{C}=\text{O}$). Seguidamente en los carbones con tratamiento térmico de 300°C tanto granular como polvo muestran la banda entre 2800 y 3000 cm^{-1} , consideramos corresponde a estiramiento y deformación del grupo C-H , la cual no se observa a un mayor tratamiento térmico de 500°C (Fransico & al, 2011). Aunque podría ser contaminación por dióxido de carbono en las muestras a bajo tratamiento térmico. Otro estiramiento se muestra desde los valores de 3300 cm^{-1} hasta 3600 cm^{-1} para todos los carbones aun teniendo diferentes tratamientos térmicos, los cuales son

característicos del grupo OH en alcoholes, fenoles y ácido carboxílicos (Hodar & Morales, 2011) (Prahas, 2008) . Lo que se podría atribuir a una superficie de nuestros carbones muy heterogénea con grupos ácidos en mayor cantidad. Este resultado cualitativo, se relaciona con el proceso cuantitativo de determinación de los grupos funcionales ácidos siguiendo el método cuantitativo de Böhm, donde se puede inferir por los resultados obtenidos que predominan grupos ácidos en todos los carbones independientes del tratamiento térmico. Sin embargo, al utilizar este método cabe la posibilidad de cuantificar como funciones oxigenadas a grupos funcionales de otros heteroátomos.

9.5. Elaboración de la curva de calibración

Los resultados para elaborar la curva se encuentran en el Anexo 4 tabla 24, con el fin de encontrar la ecuación y el R^2 , valor de gran importancia pues este refleja que tan correlacionados están los datos y si es posible trabajar con la curva obtenida. El ajuste de los datos experimentales arroja un coeficiente de correlación lo suficientemente alto ($R^2 = 0,9897$).

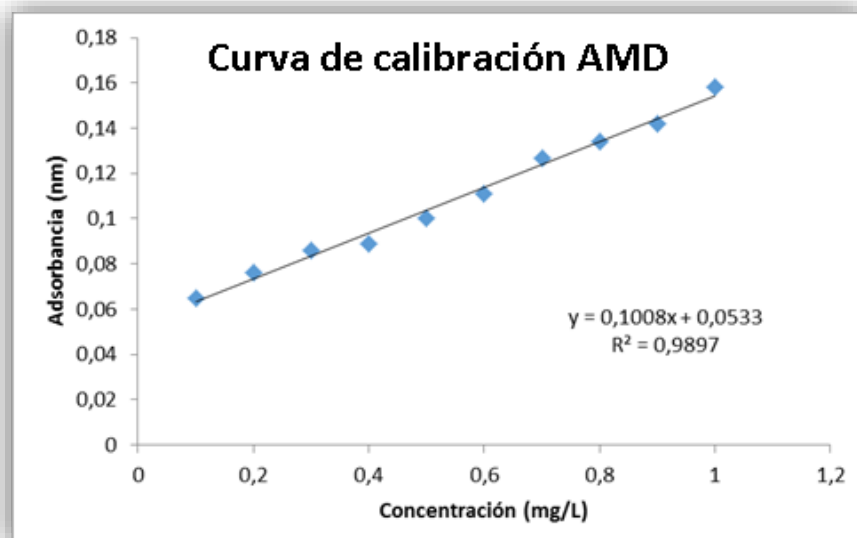


Figura 16. Curva de calibración. Fuente: Autores.

9.6 Ensayos de adsorción en porcentaje de remoción

Comportamiento del porcentaje de remoción de AMD con respecto a la concentración inicial para los carbones de 300°C y 500°C en las presentaciones polvo y granular.

La grafica 3. Muestra el porcentaje de remoción del carbón polvo 300°C con respecto a la concentración inicial, teniendo en cuenta los diferentes pH.

9.6.1 Carbón polvo a 300°C

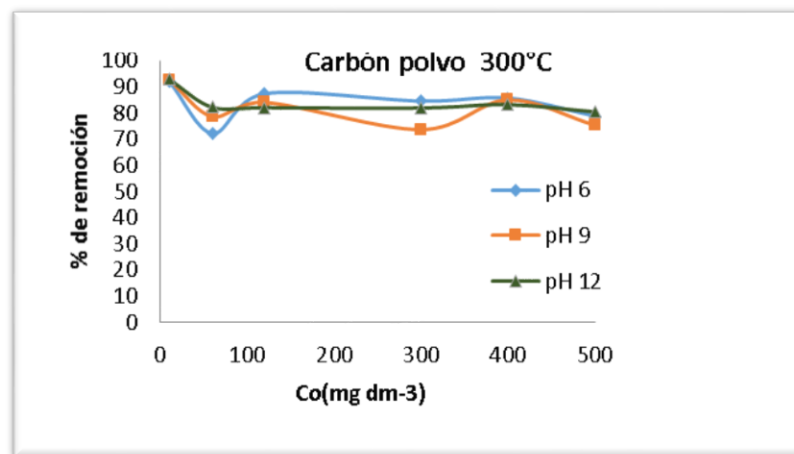


Figura 17. Efecto de la concentración inicial sobre el porcentaje de remoción polvo 300°C. Fuente: Autores

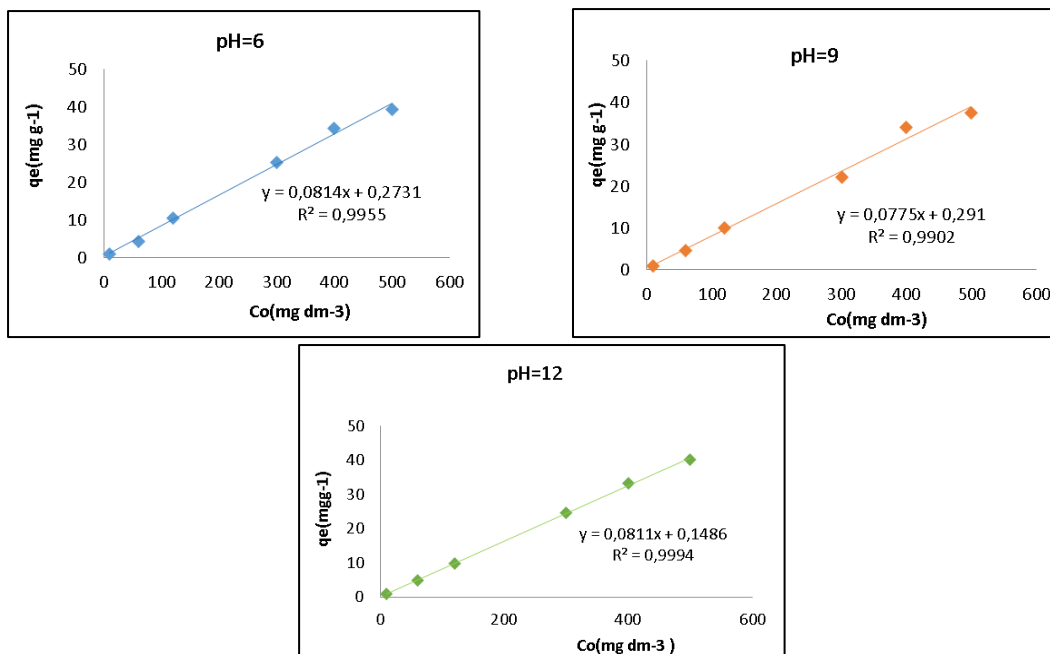


Figura 18. Capacidad de remoción en el carbón polvo 300°C a pH 6, 9,12. Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta la Figura 3 se puede interpretar que al aumentar la concentración de cada dilución, desde 10 ppm hasta 500 ppm, el porcentaje de remoción disminuye significativamente entre valores de 90% a 80% en los diferentes pH, sin embargo, en la primera concentración las soluciones inician con una remoción muy alta, un poco más de 90%, pero se observa en la segunda dilución con concentración de 60 ppm a pH=6 que la remoción disminuye a un valor cercano al 70% y en la concentración de 120 ppm hasta 400 ppm el carbón en pH=6 tiene mayor porcentaje de remoción.

9.6.2 Carbón granular a 300°C

La grafica 5. Muestra el porcentaje de remoción del carbón granular 300°C con respecto a la concentración inicial, teniendo en cuenta los diferentes pH.

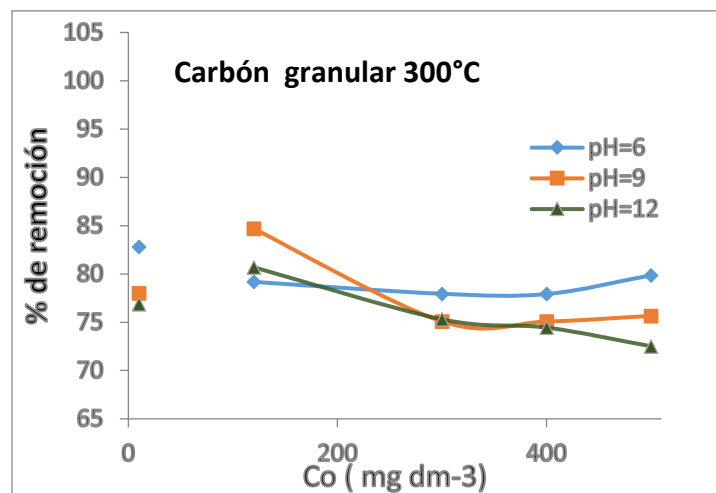


Figura 19. Efecto de la concentración inicial sobre el porcentaje de remoción polvo granular 300°C. Fuente: Autores.

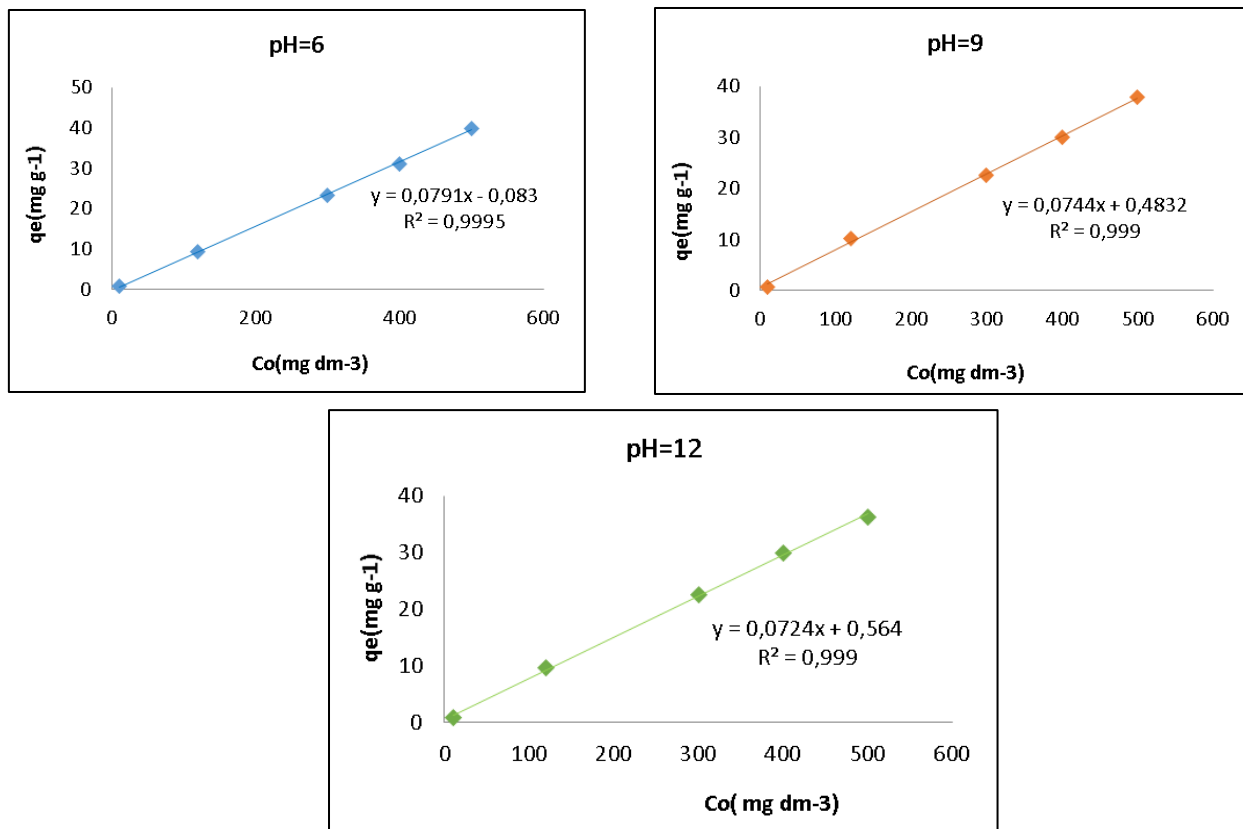


Figura 20. Capacidad de remoción del carbón granular de 300°C a pH 6, 9,12. Fuente: Autores.

Se interpreta de la Figura 5 que el porcentaje de remoción se mantiene desde 75 % hasta 80% a lo largo del cambio de las concentraciones, siendo estos valores un poco más bajos que los reportados en el anterior carbón (polvo 300°C). Se hace necesario indicar que el pH: 9 muestra en las diluciones de 120ppm una remoción cercana al 85%, siendo el mejor porcentaje reportado para este carbón. También se puede apreciar que el pH: 6 inicia removiendo entre un 75% - 80%, se mantiene constante, pero a medida que aumenta la concentración, aumenta la capacidad de remoción a diferencia de los otros pH.

9.6.3 Carbón polvo a 500°C

A continuación, en la Figura 7. Podemos observar el porcentaje de remoción del carbón polvo 500°C con respecto a la concentración inicial, teniendo en cuenta los diferentes pH.

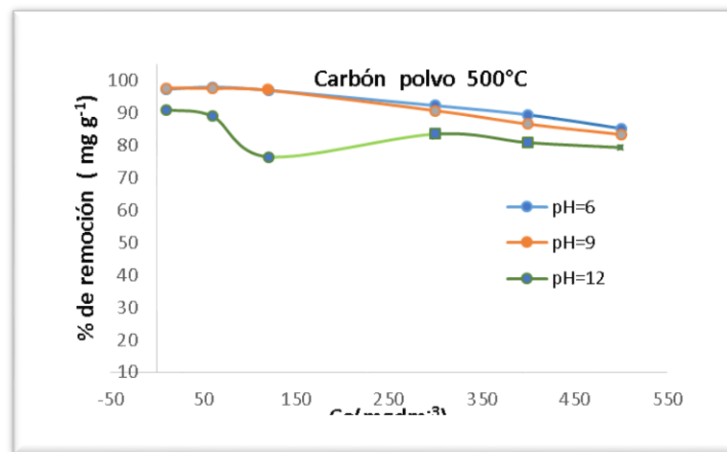


Figura 21. Efecto de la concentración inicial sobre el porcentaje de remoción polvo 500°C. Fuente: Autores.

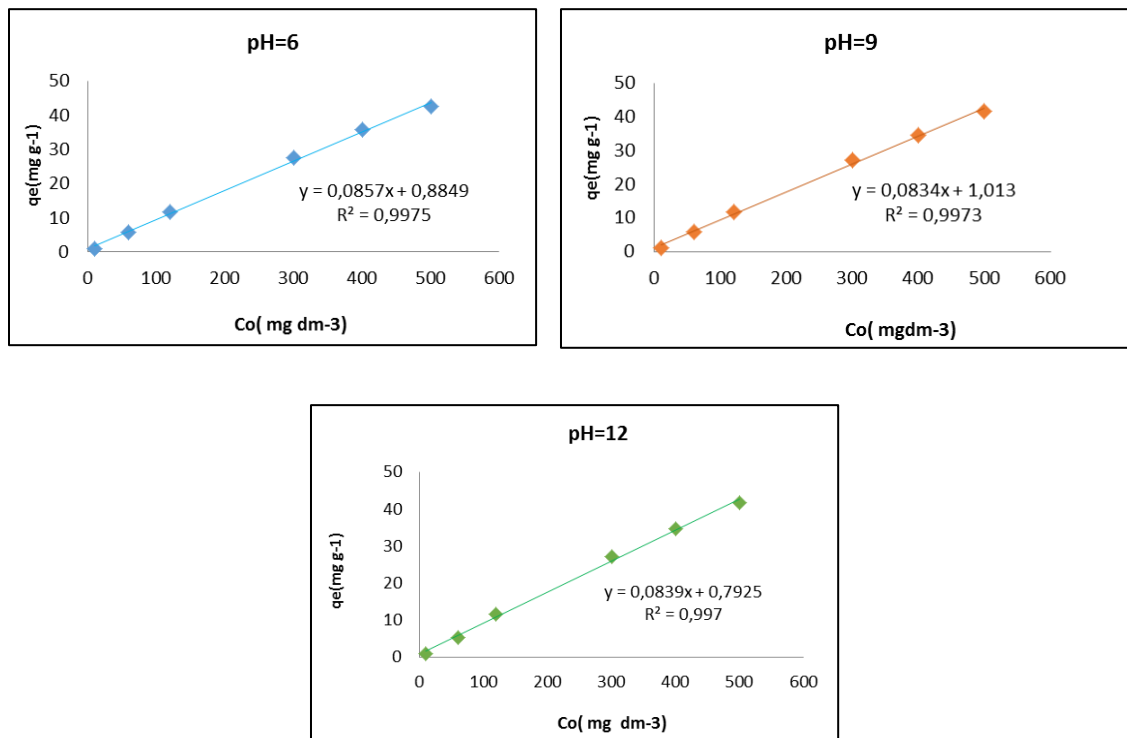


Figura 22. Capacidad de remoción en el carbón polvo 500°C a pH 6,9,12. Fuente: Autores.

Se interpreta de la Figura 7 que, de los cuatro carbones trabajados, el carbón polvo 500°C muestra el mejor porcentaje de remoción en los pH= 6 y 9 con valores desde el 99% hasta el 100%. En el pH= 12 se observa un porcentaje de remoción un poco más bajo, sin embargo, un porcentaje bueno, de 90% con un solo punto en el rango cercano al 80%.

9.6.4 Carbón granular a 500°C

Podemos observar en la Figura 9. El porcentaje de remoción del carbón granular 500°C con respecto a la concentración inicial, teniendo en cuenta los diferentes pH.

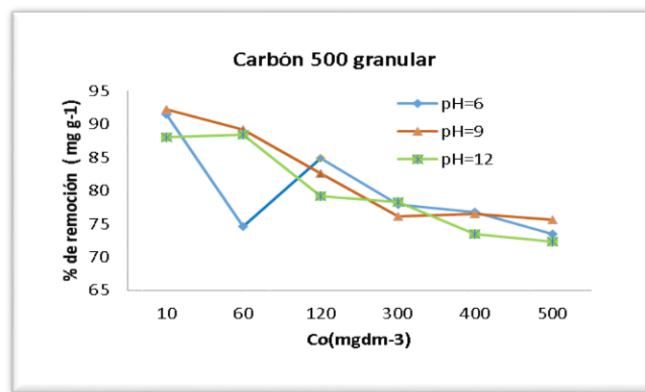


Figura 23 Efecto de la concentración inicial sobre el porcentaje de remoción carbón 500°C. Fuente: Autores

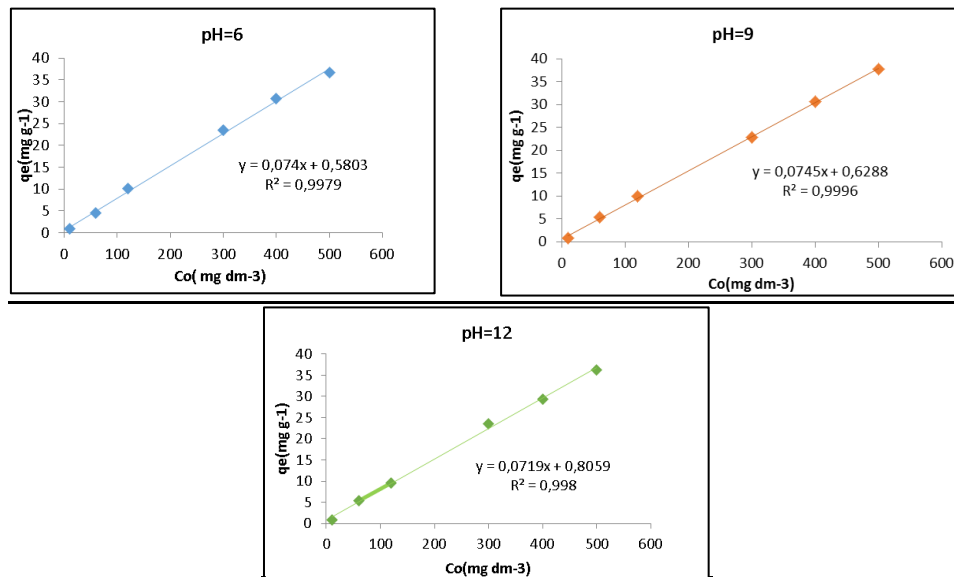


Figura 24 Capacidad de remoción en el carbón granular 500°C a pH 6,9,12. Fuente: Autores.

A partir de la Figura 10, se puede observar que el porcentaje de remoción en las concentraciones de 10 mg dm^{-3} (ppm) a 60 mg dm^{-3} (ppm) se muestra en los valores cercanos al 87% hasta 93% para todos los valores de pH, sin embargo, el mayor porcentaje de remoción para este carbón fue de 92%, y se logró a pH 6 y 9, a una concentración de 10ppm. Se puede apreciar que después de llegar a su punto máximo el porcentaje de remoción disminuye paulatinamente hasta un porcentaje de remoción alrededor del 70 a 75%, siendo un valor alto que se mantiene constante al aumentar las concentraciones. Al comparar los reportados en otras investigaciones se muestra en rangos apropiados (Rosales, Repositorio Universidad Autónoma del Caribe, 2017) (Garcia, 2011).

De manera general en todos los carbones fabricados de cáscaras de banana madura (polvo y granular de 300°C y 500°C) se observa que el porcentaje de remoción es más alto cuando las disoluciones tienen concentraciones bajas de colorante, lo anterior se atribuye a que hay una mayor disponibilidad de los sitios activos de adsorción en el carbón, permitiendo que se dé la mayor remoción del AMD. Si la concentración se aumenta, las moléculas del colorante compiten por estos sitios disponibles alcanzando el equilibrio, y el efecto mostrado sería la disminución en la remoción (Ahmad, 2010) (Baskaralingam, 2007).

También es importante tener en cuenta que se usó menor cantidad del colorante AMD al bajar las concentraciones y al emplear la misma masa de carbón (0,2 gramos) para cada una de las soluciones, se establece una relación cada vez mayor en la medida que aumenta la concentración inicial (Garcia, 2011) (Chatterjee, 2005) (Chiou, 2003).

9.7 Isotermas de adsorción

El proceso de adsorción en esta investigación tuvo lugar entre una fase solida (carbón obtenido a partir de cascaras de banana con tratamiento térmico de 300°C y 500°C) y una fase liquida (agua) que contiene disuelto el colorante AMD. Cuando se establece una afinidad entre el adsorbente y el colorante, este último es atraído hacia el sólido mediante mecanismos continuando el proceso hasta que se alcance un equilibrio entre ambos; este equilibrio se describe mediante un modelo matemático (isotermas de adsorción) que relacionan la cantidad removida de iones y la que permanece en disolución cuando se alcanza el equilibrio a una temperatura constante (Rosales, 2017).

9.7.1 Isoterma de Freundlich

Las Figuras siguientes, muestran los datos experimentales de los diferentes carbones con tratamiento térmico de 300°C y 500°C, ajustados al modelo de isoterma Freundlich.

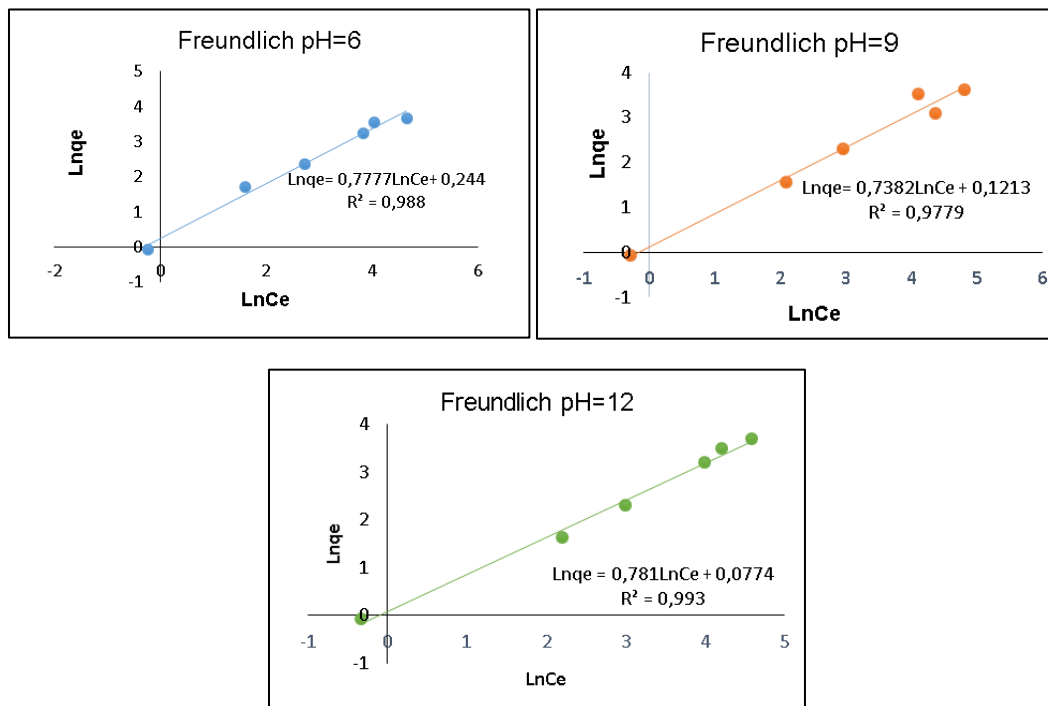


Figura 25. Comparación entre los datos experimentales carbón polvo 300°C a pH 6, 9, 12, y la ecuación linealizada del modelo de Freundlich. Fuente: Autores.

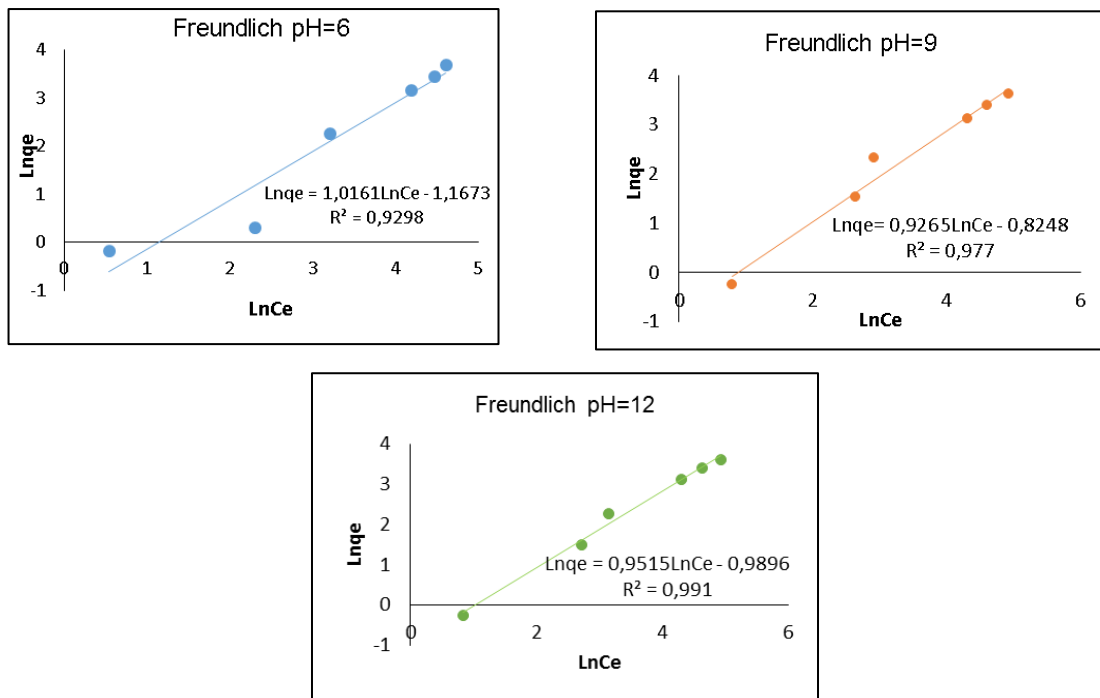


Figura 26. Comparación entre los datos experimentales carbón granular 300°C, pH 6, 9, 12 y la ecuación linealizada del modelo de Freundlich. Fuente: Autores.

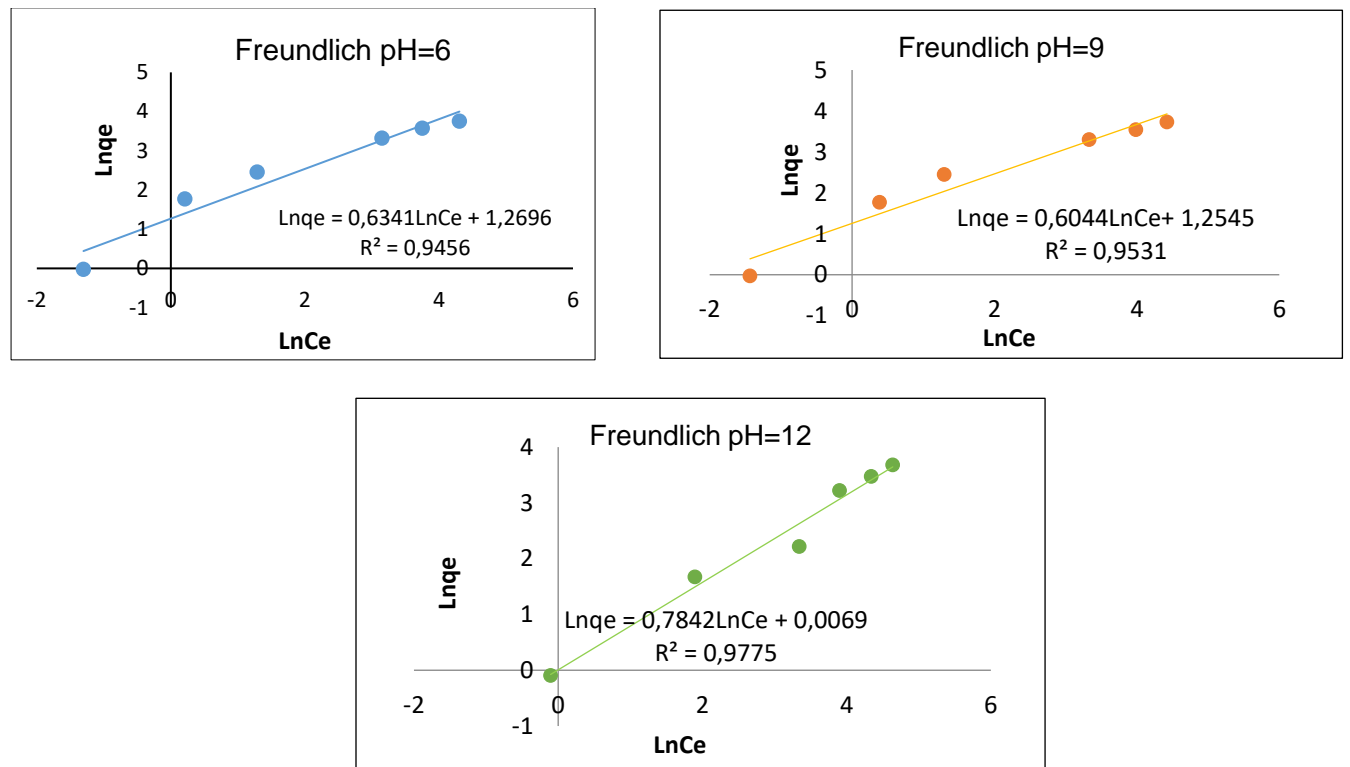


Figura 27 Comparación entre los datos experimentales carbón polvo 500°C, pH 6, 9, 12 y la ecuación linealizada del modelo de Freundlich. Fuente: Autores.

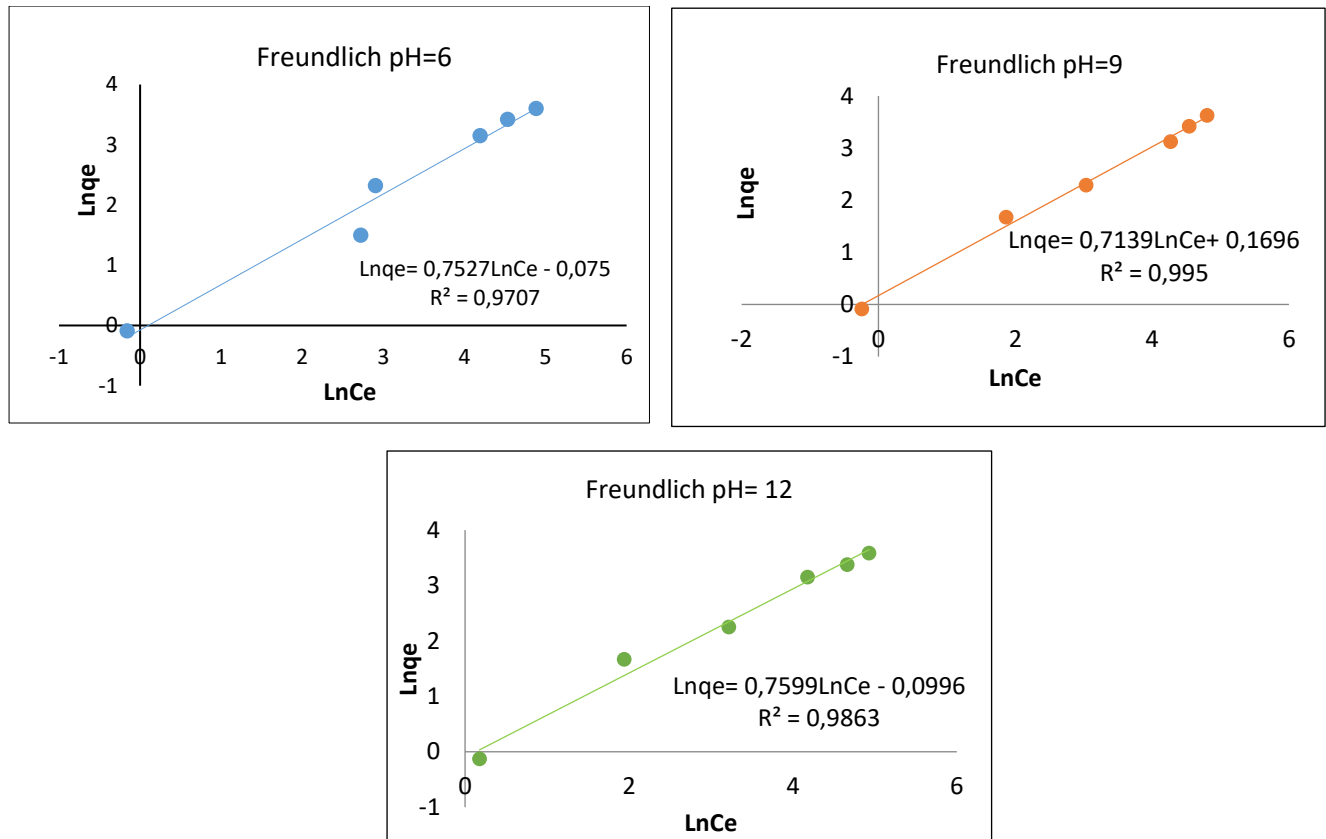


Figura 28 Comparación entre los datos experimentales carbón granular 500°C, pH 6, 9, 12 y la ecuación linealizada del modelo de Freundlich. Fuente: Autores.

En las Figuras 11, 12, 13 y 14, se representa el ajuste de los datos experimentales a la isoterma de Freundlich y en la tabla 20, se muestran los valores obtenidos de los parámetros de este modelo. Se observa que los valores para n en todos los pH son mayores que el valor de cada carbón, tanto polvo y granular 300°C y 500°C, lo que indica que el proceso de adsorción con este material es favorable (Ying & Zhao, 2006).

9.7.2 Isoterma de Langmuir

Las Figuras siguientes, muestran los datos experimentales de los diferentes carbones con tratamiento térmico de 300°C y 500°C, ajustados al modelo de isoterma Langmuir.

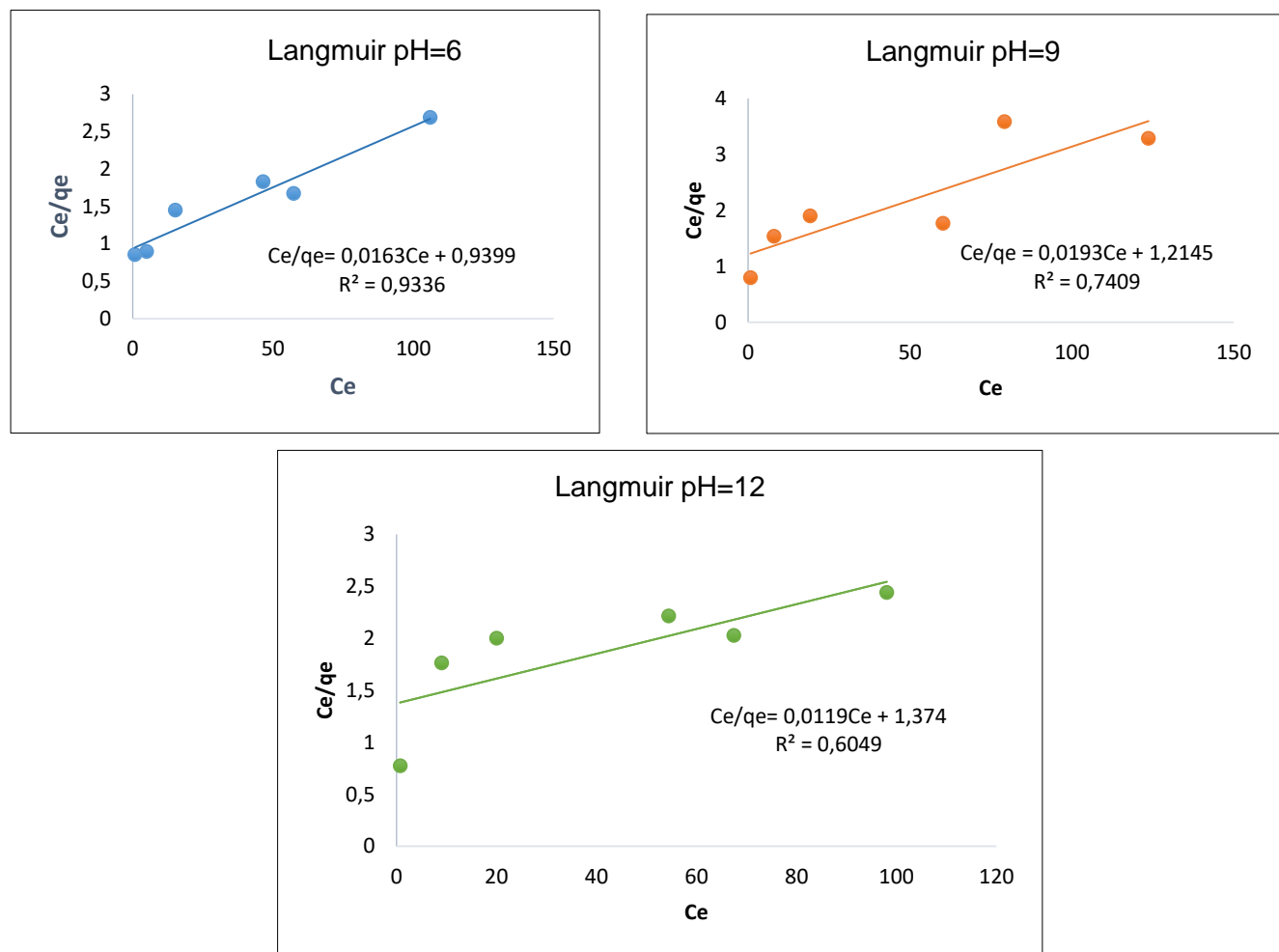


Figura 29. Comparación datos experimentales carbón polvo 300°C pH 6, 9, 12, entre la ecuación linealizada del modelo de Langmuir. Fuente: Autores.

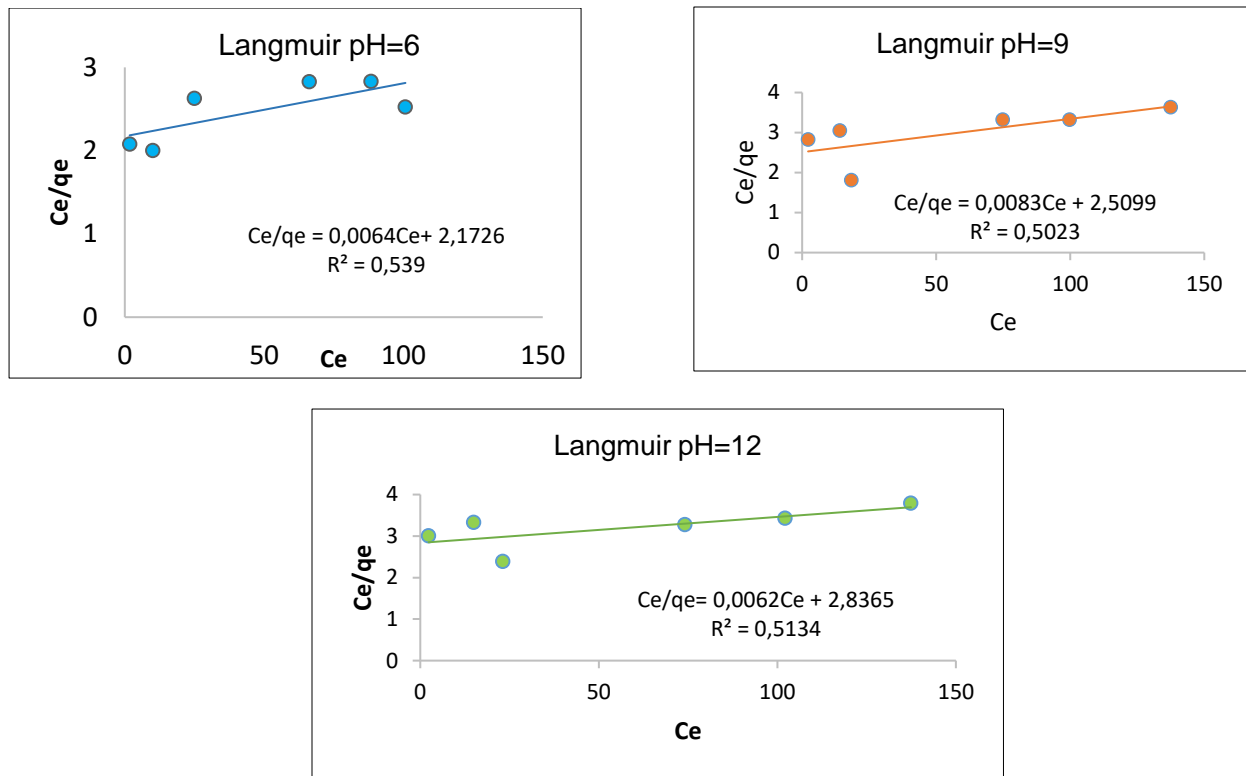


Figura 30. Comparación datos experimentales carbón granular 300°C pH 6 entre la ecuación linealizada del modelo de Langmuir. Fuente: Autores.

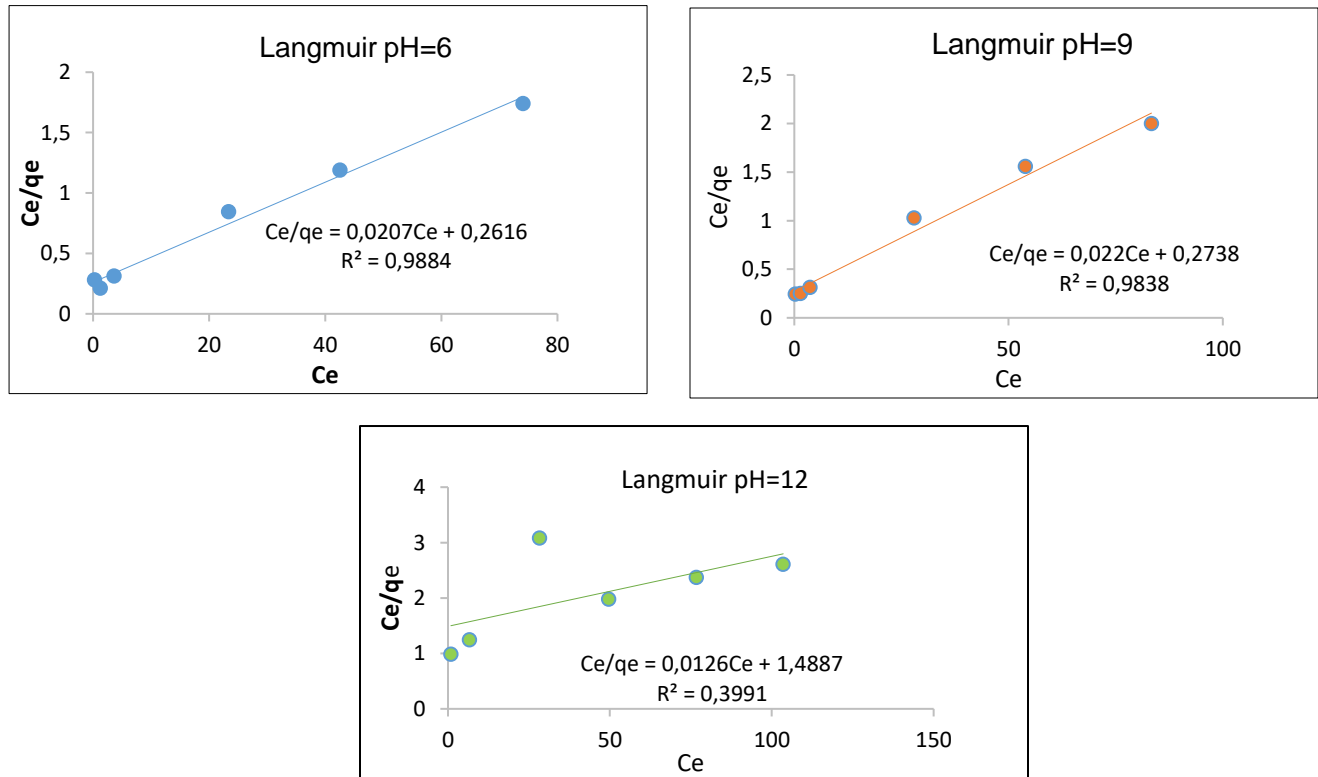


Figura 31. Comparación datos experimentales carbón polvo 500°C pH 6,9,12, entre la ecuación linealizada del modelo de Langmuir. Fuente: Autores.

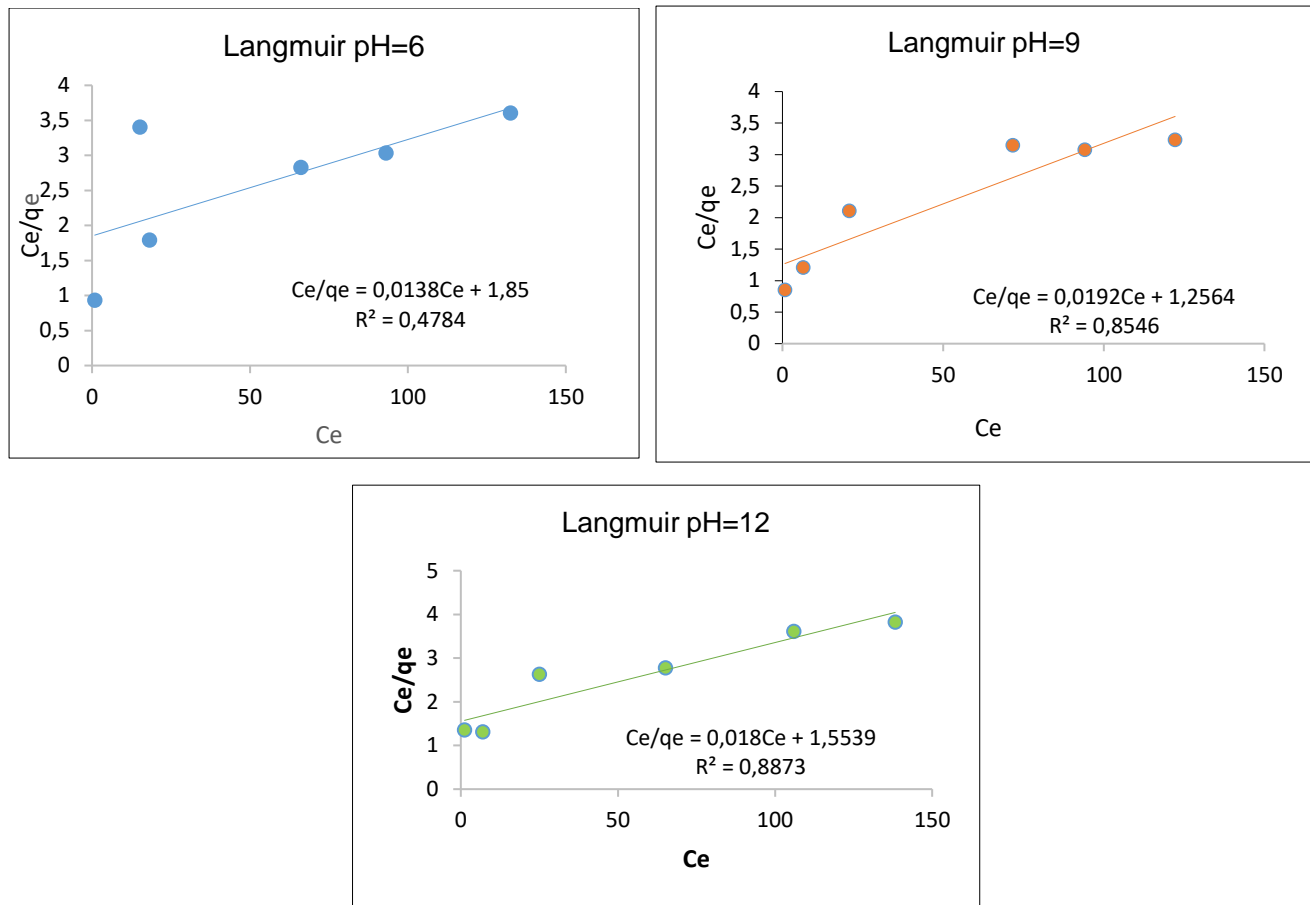


Figura 32. Comparación datos experimentales carbón granular 500°C pH 6, 9, 12, entre la ecuación linealizada del modelo de Langmuir. Fuente: Autores.

En las Figuras 15, 16, 17 y 18, se muestra el ajuste de los datos experimentales a la isoterma de Langmuir y en la Tabla 20 aparecen los valores de los parámetros de este modelo obtenidos. Se puede observar que los valores de q_{\max} (máxima cantidad de adsorbato que puede adsorberse por g de adsorbente) se encuentran comprendidos en los rangos de 51,8 hasta 161,3 mg /g y con valores de b de 0,010 hasta 0,086 dm³/ mg. Con estos resultados producto de la investigación se puede considerar al carbón activado de las cáscaras de banana madura por tratamiento térmico de 300°C y 500 °C, como material adsorbente efectivo para la remoción del colorante AMD y de otros colorantes catiónicos con similares características (SATISH, SAMEER, & NASEEMA., 2011).

Tabla 20.

Parámetros de los modelos de Freundlich y Langmuir.

Carbón	pH	Constante de Langmuir Coeficiente de correlación (R ²)	q _{max} (mg g ⁻¹)	B (dm ³ mg ⁻¹)	Constante de Freundlich Coeficiente de correlación (R ²)	k (mgg ⁻¹ (dm ³ mg ⁻¹) ^{-1/n})	n
Polvo 300°C	6	0.9336	61.3	0.017	0.988	1.276	1.285
	9	0.7409	51.8	0.015	0.977	1.28	1.354
	12	0.6049	84.0	0.086	0.993	1.08	1.280
Granular 300°C	6	0.5399	156.2	0.029	0.929	3.21	0.984
	9	0.5023	120.5	0.033	0.977	2.27	1.079
	12	0.5134	161.3	0.021	0.991	2.69	1.050
Polvo 500°C	6	0.9884	48.3	0.079	0.945	3.55	1.577
	9	0.9838	45.4	0.080	0.953	3.50	1.654
	12	0.3991	79.4	0.010	0.977	1.00	1.275
Granular 500°C	6	0.4784	72.5	0.074	0.970	0.92	1.328
	9	0.8546	52.1	0.015	0.995	1.18	1.400
	12	0.8873	55.5	0.011	0.986	0.90	1.315

Fuente: Autores

En este tipo de investigación es común para la determinación del modelo de isoterma que mejor se ajuste a los datos de equilibrio experimentales, comparar los coeficientes de correlación de ambos modelos.

Los datos experimentales presentan mejor ajuste de correlación para el modelo matemático Freundlich, valores R² entre 0.929 y 0.995 para los cuatro carbones de estudio en sus diferentes pH. Sin embargo, para el carbón 500°C tipo polvo, pH=9, el valor de R² en la isoterma de Freundlich es de 0.953 y en la isoterma de Langmuir pH=9, el valor de R² es de 0.9838 indicando que se ajusta a los dos modelos matemáticos, de igual forma existe similitud de este análisis en los valores de pH= 6 para los dos modelos.

Un fenómeno atípico se mostró en el $\text{pH} = 6$ para el carbón polvo 300°C ajustado al modelo matemático Langmuir, donde el valor del índice de correlación R^2 fue 0.9336, al parecer lo podemos relacionar con un fenómeno de precipitación del colorante, simultaneo al proceso de adsorción entre el colorante azul Marino Directo y el carbón de cáscara de banana con tratamiento térmico 300°C , esto también se evidencia de igual forma en el carbón 500°C tipo polvo, $\text{pH} = 6$.

Podemos afirmar que los procesos de adsorción del colorante AMD sobre el carbón de cáscara de banana madura se llevan a cabo por interacciones presentes en el modelo de multicapas. En este modelo se sugiere que existen sitios activos que presentan una distribución heterogénea de la energía de adsorción, que tienden a formar las multicapas de moléculas del colorante sobre el carbón (KARACA, GÜRSES, AÇIKYILDIZ, & EJDER, 2008).

El área superficial del carbón 500°C , tipo polvo, es la mayor con un valor de $80.3718 \text{ m}^2/\text{g}$, donde se podría considerar una superficie de poro de tipo mesoporoso, este mostró el mejor proceso de adsorción de colorante AMD, seguido del carbón 500°C , tipo granular, con un valor de área superficial de $73.9774 \text{ m}^2/\text{g}$. Los valores arrojados de área superficial para el carbón 300°C , tipo polvo y granular, fue de $0.7710 \text{ m}^2/\text{g}$ y $0.5463 \text{ m}^2/\text{g}$ respetivamente.

10. Conclusiones

Este trabajo de investigación sobre la obtención de carbón a partir de cáscaras de banana (*Musa Paradisiaca*) y su evaluación en la adsorción del colorante azul marino directo (AMD) nos permite concluir que:

- Es posible obtener carbones a partir de la cáscara de banana maduras (*Musa Paradisiaca*) por activación térmica a 300°C y 500°C, en presentaciones polvo y granular con un tamaño de partícula de 425 micras y 850 micras respectivamente, con excelentes resultados de adsorción.
- En cuanto a las características fisicoquímicas de los carbones elaborados, se presentó un aumento significativo del área superficial por la activación térmica. Las mejores áreas superficiales fueron obtenidas para los carbones de 500°C, tipo polvo, con un valor de 80.3718 m²/g y para el de 300°C, tipo polvo, con un valor de 0.7710 m²/g. El análisis próximo nos indica que el carbón con menor porcentaje de humedad es el sometido a tratamiento térmico a 500°C, tipo polvo, y el de mayor porcentaje de humedad es el calcinado a 300°C, tipo polvo, atribuyéndole esto a la temperatura utilizada. También se puede notar que el carbón que posee mayor porcentaje de material volátil es el de 500°C, tipo polvo, y el de 300°C, tipo granular, posee el mayor porcentaje de cenizas. El método Böehm permitió determinar la naturaleza ácida de los carbones fabricados a partir de las cáscaras de banana, como ha sido reportado en los diferentes carbones activados, confirmando la presencia de grupos carboxílicos, lactonas y fenoles. Las lactonas no dieron positivas en este análisis para el carbón de 300°C, confirmando una ligera diferencia con el carbón polvo 500°C, quien si las tiene y alcanzó un mejor porcentaje de remoción.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el infrarrojo, el carbón de 300°C, tanto para polvo como granular, muestra la banda entre 2800 cm^{-1} y 3000 cm^{-1} correspondiendo a una deformación del grupo C-H. Esto se puede atribuir a presencia de dióxido de carbono en las muestras por el bajo tratamiento térmico dado. Para los carbones de 300°C y 500°C con los dos tamaños de partículas utilizados, muestran estiramiento de la banda entre 3300 cm^{-1} hasta 3600 cm^{-1} , característico del grupo OH.

- En cuanto al análisis de la capacidad de remoción, el carbón que presentó el mayor porcentaje se obtuvo por proceso de tratamiento térmico a 500°C, con tamaño de partícula de 425 micras, considerada polvo, en el pH=9, alcanzando remociones entre un 99% y 100%. Para el carbón 500°C, tipo granular y los carbones de 300°C, tipo polvo y granular, los porcentajes de remoción van desde el 75% hasta el 93%, demostrando que poseen una alta eficiencia de remoción.
- Los datos experimentales se ajustan al modelo de Isotermas de Freundlich de manera general. Sin embargo, se presentan los dos modelos de adsorción en el carbón de 500°C polvo, específicamente en el pH = 9, se aprecia que el índice de correlación para la isoterma Freundlich fue de 0,9531 y para Langmuir de 0,9838. Para el caso del pH = 6 en la isoterma Freundlich el R^2 0,9456 y Langmuir R^2 0,9884. Con lo anterior se puede concluir que el carbón de 500°C tipo polvo posee sitios activos que presentan una distribución heterogénea de la energía de adsorción que tienden a formar las multicapas, mientras que para el caso del pH=6 se puede atribuir a un fenómeno de precipitación.
- El tratamiento térmico para las cáscaras de banana a 500°C es considerado una temperatura baja según lo reportado en la literatura en la fabricación de carbones, puesto que no es llevado hasta pirolisis, y se hizo de esta forma con el propósito de minimizar el

impacto ambiental causado por los vapores contaminantes generados, teniendo en cuenta un enfoque profesional hacia el desarrollo sostenible.

11. Recomendaciones

Para futuros trabajos con respecto a este tema de investigación, se considera que se debe tener en cuenta:

- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se recomienda que en futuras investigaciones el carbón sea analizado directamente con efluentes de la industria textil.
- Se debe considerar la posibilidad de realizar otra investigación académica para preparar carbón con las cáscaras de bananas maduras en atmósfera inerte, preferiblemente nitrógeno para darle continuidad a esta línea de trabajo.
- Ensayar otros tipos de colorantes de tipo catiónico.
- Como resultado de las interacciones con otras Instituciones de educación superior y la industria, se sugieren convenios para usos de equipos especializados.

12. Referencias

- El espectador*. (11 de diciembre de 2013). Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/multan-empresa-responsable-de-coloracion-del-rio-medell-articulo-463537>
- Ahmad, M. (2010). Optimization of preparation conditions for mangosteen peel-based activated carbons for the removal of Remazol Brilliant Blue R using response surface methodology. *Chem. Eng*, 883-890.
- Allardice, D., & Evans, D. (1978). En *Analytical Methods for Coal and Coal Products* (págs. 247-262). New York: Academic Press.
- Altava, B., & Burguete, I. (2013). Educación cooperativa en Química Verde: la experiencia española. *Educación Química*, 132-138.
- Aqueous Phase Isotherm Technique. (2008). *Standard Practice for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon*. Obtenido de <ftp://ftp.ecn.purdue.edu/olek/PTanikela/To%20Prof.%20Olek/ASTM%20standards/Adsorptive%20capacity%20of%20activated%20carbon%20D%203860.pdf>
- Arroyave, J., & Garcés, L. (2008). Degradación del colorante tartrazina mediante fotocátalisis homogénea empleando lámpara de luz ultravioleta. *P+L*, 55-67.
- Artima, M. (16 de Marzo de 2011). *Maikenl's*. Obtenido de <https://maikelnai.naukas.com/2011/03/16/pieles-de-platano-lo-ultimo-en-eliminacion-de-metales-pesados/>
- ASTM International. (2018). *Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Atkins, P., Paula, D. J., & Keeler, J. (1998). *Physical Chemistry 6th ed*. Oxford University Press.
- Barrios, L., & Agudelo, E. (2014). Tecnologías para la remoción de colorantes y pigmentos presentes en aguas residuales. *DYNA*, 118-123.
- Barrios, L., & Gaviria, A. (2015). Tecnologías para la remoción de colorantes y pigmentos presentes en aguas residuales. una revisión. *Bdigital portal de revistas UN*, 118-126.
- Barrios, L., & Gaviria, F. (2017). Study of toxicity associated to dumping of wastewater containing dyes and pigments in the aburrá valley metropolitan area. *Scielo*, 2-14.
- Barrios, L., Gaviria, L., & al, e. (2013). Estudio de la toxicidad asociada al vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes y pigmentos en el area metropolitana del valle de aburrá. *EIA*, 61-74.
- Baskaralingam, P. (2007). Modified hectorites and adsorption studies of a reactive dye-technical note. *Clay Sci*, 207-214.

- Briceño, N., & Guzmán, M. (2007). GRUPOS SUPERFICIALES EN MATERIALES CARBONOSOS. CARACTERIZACIÓN POR DIFERENTES TÉCNICAS. *Revista Colombiana de Química*, 121-130.
- Castilla, M., & Lopez-Ramon, F. C.-M. (2001). Changes in surface chemistry of activate carbons by wet oxidation. . *sciencia*, 14-38.
- Castro, G., Castro, R., & et al. (2011). Banana Peel Applied to the Solid Phase Extraction of Copper and Lead from River Water: Preconcentration of Metal Ions with a Fruit Waste. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50-67.
- Chatterjee, S. (2005). Adsorption of a model anionic dye, eosin Y, from aqueous solution by chitosan hydrobeads. *J. Coll. Interf*, 30-35.
- Chiou, M. (2003). Adsorption behavior of reactive dye in aqueous solution on chemical crosslinked chitosan beads. *Chemosph*, 1095-1105.
- D.D, E., Pines, H., & Weisz, P. (1966). Böehm. En *Advances in catalysis* (pág. 192). New York : Academic press.
- Derbyshire, F., & Andrews, R. (2001). Synthesis of isotropic carbon fibers and activated carbon fibers from pitch precursors. *Fuel*, 345-356.
- Enterría, M. (Mayo de 2013). *MATERIALES DE CARBONO MICRO-MESOPOROSOS*, Universidad de Oviedo. Obtenido de file:///C:/Users/user/Downloads/TESIS_Enterr%C3%ADa_Materiales%20de%20carbono.pdf
- EPA. (Marzo de 2017). *Enviromental Protection Agence*. Obtenido de <https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry#definition>
- Flores, J. e. (2005). Adsorción de CU (II) por quitosano en polvos y perla de gel rey . *Scielo.org*, 17-25.
- Flores, J., Navarro, A., & Ramos, K. (1 de Julio de 2005). *Scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v71n1/a04v71n1.pdf>
- Fonseca, L., & Ruiz, M. (Junio de 2008). *UNIVERSIDAD DE PAMPLONA*. Obtenido de EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE POLLINAZA: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIG/home_101/recursos/01general/27112014/trabajolibaiymarta.pdf
- Fransico, M., & al, e. (junio de 2011). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/271528772_Quimica_superficial_de_los_materiales_de_carbon
- Freundlich, H. (1906). Over the adsorption in solution . *The Journal Of Physical Chemistry C*, 385 - 471 .

- Galindo, A. (Marzo de 2010). *Catalisis y Reactores Heterogéneos*. Obtenido de <https://doc/267547940/metodo-bet>
- Garces, I., & Coavas, S. (16 de noviembre de 2012). *Reporsitorio universidad cartagena*. Obtenido de <http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/11227/140/1/tesis%20Garces-Coavas.pdf>
- Garcia, G. C. (2011). Remoción de Pb²⁺ en disolución acuosa sobre carbón activado en polvo. *Prospectiva*, 59-68.
- Gaviria, L. F. (2015). Technologies for the removal of dyes and pigments present in wastewater. *DYNA*, 118-126.
- Given, P., & Yarzab, R. (1978). Chapter 20. Analysis of the organic substance of coals. En *Analytical methods for coal and coal products* (págs. 3-41). New York: Academic Press.
- Gonzales, M. (Noviembre de 2012). *ESTUDIO DE POLÍMEROS POROSOS SINTETIZADOS*. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/14122/399042.pdf?sequence=1>
- González, V. (2015). *Nanomateriales de Carbono, síntesis, funcionalización y aplicaciones*. Madrid: Leganes.
- Gurusamy, A., & Lai Yi Ling, J.-F. L. (2008). Adsorption of reactive dye from an aqueous solution by chitosan: isotherm, kinetic and thermodynamic analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 337-346.
- Hernández, M. Á., & Velasco, J. A. (2003). Evaluación de mesoporos y caracterización de arcillas del estado de Puebla, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 183-190.
- Hernandez, S., & Rodriguez, M. (Noviembre de 2008). *MEJORAMIENTO DE LA BIOTRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE TINTORERÍA A TRAVÉS DE UN PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA*. Obtenido de <file:///C:/Users/user/Downloads/Articulosimposio.pdf>
- HO, Y. e. (2002). Equilibrium sorption isotherm for metals ions on tree fern. *Science direct*, 1421-1430.
- Hodar, F., & Morales, S. (20 de junio de 2011). Química superficial de materiales de carbono. Granada, España.
- Huertas, F., & Sanches, C. (2009). *Repository.lasalle.edu.co*. Obtenido de <file:///C:/Users/Mayo/Downloads/T40.09%20H871s.pdf>
- J., L., & Manos, G. (2010). Perspective and introduction to adsorption and phase behaviour in nanochannels and nanotubes. En *Adsorption and phase behavior in nanochannels and nanotubes* (pág. 1). Londres: Springer.

- KARACA, S., GÜRSER, A., AÇIKYILDIZ, M., & EJDER, M. (2008). Adsorption of cationic dye from aqueous solutions by activated carbon. Micropor. Mesopor. *Enviromental*, 376-382.
- Khehra, M. S. (2006). Biodegradation of Azo dye C.I. Acid Red 88 by an anoxic- aerobic sequential bioreactor. *Dyes and pigment*, 1-7.
- LANGMUIR. (1916). The constitution and fundamental properties of solids and liquids. *J. Am. Chem.*, 14-20.
- Malik, J. (2003). Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: a case study of Acid Yellow 36. *Dyes and Pigments*, 239–249.
- McKay, H. (2003). Sorption of dyes and copper ions onto biosorbents. *Process Biochemistry*, 1047-1061 .
- Mesa, H., & Branch, J. (2009). CLASSIFICATION OF THE POROSITY IN THERMALLY TREATED COALS USING A SYSTEM OF COMPUTER AIDED MICROSCOPY. *Revista Boletín Ciencia de la Tierra*, 81-92.
- minutos, N. 9. (05 de marzo de 2019). *90 minutos*. Obtenido de <https://90minutos.co/rio-yumbo-azul-vertimiento-sistema-alcantarillado-05-03-2019/>
- Mohamed, M. M. (2004). Acid dye removal: comparison of surfactant-modified mesoporous FSM-16 with activated carbon derived from rice husk. *Journal of Colloid and Interface Science*, 28–34 .
- Morales, M., & Martinez, J. (2011). ¿Qué tan verde es tu experimento? *Educación Química*, 240-248.
- Moreno, A., & Figueroa, D. (2012). Adsorción de azul de metileno sobre cascarilla de arroz. *SciELO*, 1-7.
- Nagarethinam, K., & Meenakshi, S. (2001). Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbons—a comparative study. *Dyes and Pigments* , 25–40.
- Nasser, A., & Hendway, A. (2001). Adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Pages 209-221.
- Nevin, Y., & Vahdettin, S. (2000). Studies of the surface area and porosity of activated carbons prepared from rice husks. *Carbón*, 1943-1945.
- Oliveira, F., & Alves, T. (2008). Evaluation of Untreated Coffe Husks As Potential Biosorbents For Treatment Of Dye Contaminated Waters. *Journal of Hazardous Materials*, 507-512.
- Orozco, K. (2018). *Biodegradación de colorante azul directo por consorcios bacterianos aislados de un efluente textil de Lima, Perú*. Obtenido de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/8807/Orozco_rk.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Osorio, R., & Di Salvo, A. (2008). Química verde: Un nuevo enfoque para las actividades experimentales de química. *Multiciencias*, 11-17.
- Ovín, M. (5 de febrero de 2003). *Universidad de Oviedo*. Obtenido de http://digital.csic.es/bitstream/10261/34359/1/Tesis%20CO%20Ania_2003.pdf
- Pajaro, N., & Olivero, J. (2011). QUÍMICA VERDE: UN NUEVO RETO. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 169-182.
- Pearce, C., & Lloyd, J. (2003). The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review. *ScienceDirect*, 179-196.
- Pérez O, M. M. (2016). Impactos ocasionados por el desarrollo de la actividad minera al entorno natural y situación actual de Colombia. Sociedad y Ambiente. *Redalyc*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/4557/455746534005.pdf>
- Plaza, M. (19 de Mayo de 2016). *Repositorio Universidad Autonoma del Caribe*. Obtenido de <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/2339/Adsorci%C3%B3n%20del%20colorante%20Azul%20Marino%20Directo%20%28AMD%29%20en%20disoluci%C3%B3n%20acuosa%20sobre%20biomasa%20tratada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Plazas, M. (septiembre de 2016). *Adsorción del colorante azul marino directo en disolución acuosa sobre biomasa tratada preparada a partir de la borra del café en una columna de lecho fijo*. Obtenido de Universidad autonoma del caribe .
- Prahas, D. e. (2008). Activated carbon from jackfruit peel waste by H₃PO₄ chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization . *Chemical Engineering Journal* , 32-42.
- Primera, O., Colpas, F., & Meza, E. (2011). Carbones activados apartir de bagazo de caña de azucar y zuro de maiz para la adsorcion de cadmio y plomo. *revista academica de colombia ciencia* , 388-396.
- Rafatullah, M., & Sulaiman, R. (2010). adsorption of methylene blue on low-cost adsorbentes. *Journal of hazardous materials*, 70-80.
- Ramos, j. (6 de agosto de 2010). *universidad nacional* . Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/3812/1/01197488.2011.pdf>
- Rivas, C. N. (2014). *Isoterma de langmiur y freundlich como modelos para la adsorcion de componentes de ácidos nucleicos sobre WO₃*. saber.
- Rosales, C. (2017). Adsorción del colorante azul marino directo en disolución acuosa sobre biomasa tratada a partir de la borra del café en una columna de lecho fijo. Barranquilla.
- Rosales, C. (2017). *Adsorción del colorante azul marino directo en disolución acuosa sobre biomasa tratada preparada a partir de la borra del café en una columna de lecho fijo, Tesis de pregrado, Universidad Autonoma Del Caribe*. Barranquilla: Universidad Autónoma del caribe. Obtenido de Adsorción del colorante azul marino directo en

- disolución acuosa sobre biomasa tratada preparada a partir de la borra del café en una columna de lecho fijo, Tesis de pregrado, Universidad Autonoma Del Caribe.
- Rosales, C. (2017). *Obtención de carbón activado a partir de residuo de café y su evaluación en la remoción de colorante azul marino directo*. Barranquilla : Universidad Autonoma del Caribe .
- Rosales, C. (20 de Octubre de 2017). *Repositorio Universidad Autónoma del Caribe*. Obtenido de <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/2145/Obtenci%C3%B3n%20de%20carb%C3%B3n%20activado%20a%20partir%20de%20borra%20%28cuncho%29%20del%20café%20y%20su%20evaluaci%C3%B3n%20en%20la%20remoci%C3%B3n%20del%20colorante%20azul%20marino%20di>
- Ruey-Shin, J.-L., & TsengFeng-Chin, W. (2001). Role of Microporosity of Activated Carbons on Their Adsorption Abilities for Phenols and Dyes. *Adsorption*, 65-72.
- SATISH, P., SAMEER, R., & NASEEMA. (2011). Removal of methylene blue, a basic dye from aqueous solutions by adsorption using teak tree (*Tectona grandis*) bark powder. *Int. J. Environ*, 711-726.
- SAWYER, C. N., & McCARTY, P. L. (2001). *Chemistry for Environmental Engenieering*. Estados Unidos: McGraw Hill.
- Speight, J. (2013). *The chemistry and technology of coal* . Florida, Estados Unidos: CRC Press.
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. Mexico: Limusa Noriega Editores.
- Timmerman, E., & Chirife, J. (2001). Water sorption isotherm of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? *Journal of Food Engineering*, 19-31.
- Tinoco, O., & Medina, A. (2012). Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. *Redalyc*, 3-8.
- Torres, r., & Andrade, r. (2015). Influencia del grado de madurez en la firmeza del platano hartón. *scielo*, 563 - 567.
- Tseng, R., Wu, F., & Juang, R. (2003). Liquid-phase adsorption of dyes and phenols using pinewood-based activated carbons. *Carbón*, 487-495.
- Vilaseca, M. (Marzo de 2015). *Universidad Politecnica de Catalunya Barcelona*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/95783/TMMVV1de1.pdf;jsessionid=D1FCBDF3411966F3A2B4A2E15B7C1E6D?sequence=1>
- Ying, W., & Zhao, M. (2006). Bisotherms, Kinetics and hermodynamics of dye bioabsorption by anaerobics sludge. *Purif. Techn*, 1-7.
- zhang, L., & Wang, J. (2015). adsorption of mthethyl orange (MO) br Zr (IV) immobilized cross. *internatonal journal of biological macromolecules*, 818 - 827.

- Ahmad, M. (2010). Optimization of preparation conditions for mangosteen peel-based activated carbons for the removal of Remazol Brilliant Blue R using response surface methodology. *Chem. Eng*, 883-890.
- Altava, B., & Burguete, I. (2013). Educación cooperativa en Química Verde: la experiencia española. *Educación Química*, 132-138.
- Aqueous Phase Isotherm Technique. (2008). *Standard Practice for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon*. Obtenido de <ftp://ftp.ecn.purdue.edu/olek/PTanikela/To%20Prof.%20Olek/ASTM%20standards/Adsorptive%20capacity%20of%20activated%20carbon%20D%203860.pdf>
- Arroyave, J., & Garcés, L. (2008). Degradación del colorante tartrazina mediante fotocátalisis homogénea empleando lámpara de luz ultravioleta. *P+L*, 55-67.
- Artima, M. (16 de Marzo de 2011). *Maikenl's*. Obtenido de <https://maikelnai.naukas.com/2011/03/16/pieles-de-platano-lo-ultimo-en-eliminacion-de-metales-pesados/>
- ASTM International. (2018). *Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Atkins, P., Paula, D. J., & Keeler, J. (1998). *Physical Chemistry 6th ed*. Oxford University Press.
- Barrios, L., & Agudelo, E. (2014). Tecnologías para la remoción de colorantes y pigmentos presentes en aguas residuales. *DYNA*, 118-123.
- Barrios, L., & Gaviria, A. (2015). Tecnologías para la remoción de colorantes y pigmentos presentes en aguas residuales. una revisión. *Bdigital portal de revistas UN*, 118-126.
- Barrios, L., & Gaviria, F. (2017). Study of toxicity associated to dumping of wastewater containing dyes and pigments in the aburrá valley metropolitan area. *SciELO*, 2-14.
- Baskaralingam, P. (2007). Modified hectorites and adsorption studies of a reactive dye-technical note. *Clay Sci*, 207-214.
- Briceño, N., & Guzmán, M. (2007). GRUPOS SUPERFICIALES EN MATERIALES CARBONOSOS. CARACTERIZACIÓN POR DIFERENTES TÉCNICAS. *Revista Colombiana de Química*, 121-130.
- Castilla, M., & Lopez-Ramon, F. C.-M. (2001). Changes in surface chemistry of activate carbons by wet oxidation. *. sciencia*, 14-38.
- Castro, G., Renata, C., Caetano, L., & Ferreira, G. (2011). Banana Peel Applied to the Solid Phase Extraction of Copper and Lead from River Water: Preconcentration of Metal Ions with a Fruit Waste. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50-67.

- Chatterjee, S. (2005). Adsorption of a model anionic dye, eosin Y, from aqueous solution by chitosan hydrobeads. *J. Coll. Interf*, 30-35.
- Chiou, M. (2003). Adsorption behavior of reactive dye in aqueous solution on chemical crosslinked chitosan beads. *Chemosph*, 1095-1105.
- Derbyshire, F., & Andrews, R. (2001). Synthesis of isotropic carbon fibers and activated carbon fibers from pitch precursors. *Fuel*, 345-356.
- El espectador*. (11 de diciembre de 2013). Obtenido de <https://www.elspectador.com/noticias/nacional/multan-empresa-responsable-de-coloracion-del-rio-medell-articulo-463537>
- Enterría, M. (Mayo de 2013). *MATERIALES DE CARBONO MICRO-MESOPOROSOS*, Universidad de Oviedo. Obtenido de file:///C:/Users/user/Downloads/TESIS_Enterr%C3%ADa_Materiales%20de%20carbono.pdf
- EPA. (Marzo de 2017). *Enviromental Protection Agence*. Obtenido de <https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry#definition>
- Flores, J. e. (2005). Adsorción de CU (II) por quitosano en polvos y perla de gel rey . *Scielo.org*, 17-25.
- Flores, J., Navarro, A., & Ramos, K. (1 de Julio de 2005). *Scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v71n1/a04v71n1.pdf>
- Fonseca, L., & Ruiz, M. (Junio de 2008). *UNIVERSIDAD DE PAMPLONA*. Obtenido de EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE POLLINAZA: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_101/recursos/01general/27112014/trabajolibaiymarta.pdf
- Freundlich, H. (1906). Over the adsorption in solution . *The Journal Of Physical Chemistry C*, 385 - 471 .
- Galindo, A. (Marzo de 2010). *Catalisis y Reactores Heterogéneos*. Obtenido de <https://doc/267547940/metodo-bet>
- Garces, I., & Coavas, S. (16 de noviembre de 2012). *Reporsitorio universidad cartagena* . Obtenido de <http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/11227/140/1/tesis%20Garces-Coavas.pdf>
- Garcia, G. C. (2011). Remoción de Pb² en disolución acuosa sobre carbón activado en polvo. *Prospectiva*, 59-68.
- Gaviria, L. F. (2015). Technologies for the removal of dyes and pigments present in wastewater. *DYNA*, 118-126.

- Gonzales, M. (Noviembre de 2012). *ESTUDIO DE POLÍMEROS POROSOS SINTETIZADOS*.
Obtenido de
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/14122/399042.pdf?sequence=1>
- González, V. (2015). *Nanomateriales de Carbono, síntesis, funcionalización y aplicaciones*.
Madrid: Leganes.
- Gurusamy, A., & Lai Yi Ling, J.-F. L. (2008). Adsorption of reactive dye from an aqueous solution by chitosan: isotherm, kinetic and thermodynamic analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 337-346.
- Hernández, M. Á., & Velasco, J. A. (2003). Evaluación de mesoporos y caracterización de arcillas del estado de Puebla, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 183-190.
- Hernandez, S., & Rodriguez, M. (Noviembre de 2008). *MEJORAMIENTO DE LA BIOTRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE TINTORERÍA A TRAVÉS DE UN PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA*. Obtenido de
<file:///C:/Users/user/Downloads/Articulosimposio.pdf>
- HO, Y. e. (2002). Equilibrium sorption isotherm for metals ions on tree fern. . *Science direct* , 1421-1430.
- J., L., & Manos, G. (2010). Perspective and introduction to adsorption and phase behaviour in nanochannels and nanotubes. En *Adsorption and phase behavior in nanochannels and nanotubes* (pág. 1). Londres: springer.
- Khehra, M. S. (2006). Biodegradation of Azo dye C.I. Acid Red 88 by an anoxic- aerobic sequential bioreactor. *Dyes and pigment*, 1-7.
- Malik, J. (2003). Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: a case study of Acid Yellow 36. *Dyes and Pigments*, 239-249.
- McKay, H. (2003). Sorption of dyes and copper ions onto biosorbents. *Process Biochemistry*, 1047-1061 .
- Mesa, H., & Branch, J. (2009). CLASSIFICATION OF THE POROSITY IN THERMALLY TREATED COALS USING A SYSTEM OF COMPUTER AIDED MICROSCOPY. *Revista Boletín Ciencia de la Tierra*, 81-92.
- Mohamed, M. M. (2004). Acid dye removal: comparison of surfactant-modified mesoporous FSM-16 with activated carbon derived from rice husk. *Journal of Colloid and Interface Science*, 28-34 .
- Morales, M., & Martinez, J. (2011). ¿Qué tan verde es tu experimento? *Educación Química*, 240-248.
- Moreno, A., & Figueroa, D. (2012). Adsorción de azul de metileno sobre cascarilla de arroz. *SciELO*, 1-7.

- Nagarethinam, K., & Meenakshi, S. (2001). Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbons—a comparative study. *Dyes and Pigments*, 25–40.
- Nasser, A., & Hendway, A. (2001). Adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Pages 209-221.
- Nevin, Y., & Vahdettin, S. (2000). Studies of the surface area and porosity of activated carbons prepared from rice husks. *Carbón*, 1943-1945.
- Oliveira, F., & Alves, T. (2008). Evaluation of Untreated Coffe Husks As Potential Biosorbents For Treatment Of Dye Contaminated Waters. *Journal of Hazardous Materials*, 507-512.
- Osorio, R., & Di Salvo, A. (2008). Química verde: Un nuevo enfoque para las actividades experimentales de química. *Multiciencias*, 11-17.
- Pajaro, N., & Olivero, J. (2011). QUÍMICA VERDE: UN NUEVO RETO. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 169-182.
- Pearce, C., & Lloyd, J. (2003). The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review. *ScienceDirect*, 179-196.
- Pérez O, M. M. (2016). Impactos ocasionados por el desarrollo de la actividad minera al entorno natural y situación actual de Colombia. Sociedad y Ambiente. *Redalyc*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/4557/455746534005.pdf>
- Plaza, M. (19 de Mayo de 2016). *Repositorio Universidad Autonoma del Caribe*. Obtenido de <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/2339/Adsorci%C3%B3n%20del%20colorante%20Azul%20Marino%20Directo%20%28AMD%29%20en%20disoluci%C3%B3n%20acuosa%20sobre%20biomasa%20tratada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Plazas, M. (septiembre de 2016). *Adsorción del colorante azul marino directo en disolución acuosa sobre biomasa tratada prepara a partir de la borra del café en una columna de lecho fijo*. Obtenido de Universidad autonoma del caribe .
- Primera, O., Colpas, F., & Meza, E. (2011). Carbones activados a partir de bagazo de caña de azúcar y zuro de maíz para la adsorción de cadmio y plomo. *revista academica de colombia ciencia*, 388-396.
- Rafatullah, M., & Sulaiman, R. (2010). adsorption of methylene blue on low-cost adsorbentes. *Journal of hazardous materials*, 70-80.
- Ramos, j. (6 de agosto de 2010). *universidad nacional* . Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/3812/1/01197488.2011.pdf>
- Rivas, C. N. (2014). *Isoterma de langmiur y freundlich como modelos para la adsorción de componentes de ácidos nucleicos sobre WO3*. saber.
- Rosales, C. (2017). Adsorción del colorante azul marino directo en disolución acuosa sobre biomasa tratada a partir de la borra del café en una columna de lecho fijo. Barranquilla.

- Rosales, C. (2017). *Adsorción del colorante azul marino directo en disolución acuosa sobre biomasa tratada preparada a partir de la borra del café en una columna de lecho fijo, Tesis de pregrado, Universidad Autonoma Del Caribe*. Barranquilla: Universidad Autónoma del caribe. Obtenido de Adsorción del colorante azul marino directo en disolución acuosa sobre biomasa tratada preparada a partir de la borra del café en una columna de lecho fijo, Tesis de pregrado, Universidad Autonoma Del Caribe.
- Rosales, C. (2017). *Obtención de carbón activado a partir de residuo de café y su evaluación en la remoción de colorante azul marino directo*. Barranquilla : Universidad Autonoma del Caribe .
- Rosales, C. (20 de Octubre de 2017). *Repositorio Universidad Autonoma del Caribe*. Obtenido de <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/2145/Obtenci%C3%B3n%20de%20carb%C3%B3n%20activado%20a%20partir%20de%20la%20borra%20%28cuncho%29%20del%20café%20y%20su%20evaluaci%C3%B3n%20en%20la%20remoci%C3%B3n%20del%20colorante%20azul%20marino%20di>
- Ruey-Shin, J.-L., & TsengFeng-Chin, W. (2001). Role of Microporosity of Activated Carbons on Their Adsorption Abilities for Phenols and Dyes. *Adsorption*, 65-72.
- SAWYER, C. N., & McCARTY, P. L. (2001). *Chemistry for Environmental Engenieering*. Estados Unidos: McGraw Hill.
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. Mexico: Limusa Noriega Editores.
- Timmerman, E., & Chirife, J. (2001). Water sorption isotherm of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? *Journal of Food Engineering*, 19-31.
- Tinoco, O., & Medina, A. (2012). Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. *Redalyc*, 3-8.
- Torres, r., & Andrade, r. (2015). Influencia del grado de madurez en la firmeza del platano hartón. *scielo*, 563 - 567.
- Tseng, R., Wu, F., & Juang, R. (2003). Liquid-phase adsorption of dyes and phenols using pinewood-based activated carbons. *Carbón*, 487-495.
- zhang, L., & Wang, J. (2015). adsorption of mthethyl orange (MO) br Zr (IV) immobilized cross. *internatonal journal of biological macromolecules*, 818 - 827.
- Ahmad, M. (2010). Optimization of preparation conditions for mangosteen peel-based activated carbons for the removal of Remazol Brilliant Blue R using response surface methodology. *Chem. Eng*, 883-890.

- Altava, B., & Burguete, I. (2013). Educación cooperativa en Química Verde: la experiencia española. *Educación Química*, 132-138.
- Aqueous Phase Isotherm Technique. (2008). *Standard Practice for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon*. Obtenido de <ftp://ftp.ecn.purdue.edu/olek/PTanikela/To%20Prof.%20Olek/ASTM%20standards/Adsorptive%20capacity%20of%20activated%20carbon%20D%203860.pdf>
- Arroyave, J., & Garcés, L. (2008). Degradación del colorante tartrazina mediante fotocátalisis homogénea empleando lámpara de luz ultravioleta. *P+L*, 55-67.
- Artima, M. (16 de Marzo de 2011). *Maikenl's*. Obtenido de <https://maikelnai.naukas.com/2011/03/16/pieles-de-platano-lo-ultimo-en-eliminacion-de-metales-pesados/>
- ASTM International. (2018). *Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Atkins, P., Paula, D. J., & Keeler, J. (1998). *Physical Chemistry 6th ed.* Oxford University Press.
- Barrios, L., & Agudelo, E. (2014). Tecnologías para la remoción de colorantes y pigmentos presentes en aguas residuales. *DYNA*, 118-123.
- Barrios, L., & Gaviria, A. (2015). Tecnologías para la remoción de colorantes y pigmentos presentes en aguas residuales. una revisión. *Bdigital portal de revistas UN*, 118-126.
- Barrios, L., & Gaviria, F. (2017). Study of toxicity associated to dumping of wastewater containing dyes and pigments in the aburrá valley metropolitan area. *Scielo*, 2-14.
- Baskaralingam, P. (2007). Modified hectorites and adsorption studies of a reactive dye-technical note. *Clay Sci*, 207-214.
- Briceño, N., & Guzmán, M. (2007). GRUPOS SUPERFICIALES EN MATERIALES CARBONOSOS. CARACTERIZACIÓN POR DIFERENTES TÉCNICAS. *Revista Colombiana de Química*, 121-130.
- Castilla, M., & Lopez-Ramon, F. C.-M. (2001). Changes in surface chemistry of activate carbons by wet oxidation. . *sciencia*, 14-38.
- Castro, G., Renata, C., Caetano, L., & Ferreira, G. (2011). Banana Peel Applied to the Solid Phase Extraction of Copper and Lead from River Water: Preconcentration of Metal Ions with a Fruit Waste. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50-67.
- Chatterjee, S. (2005). Adsorption of a model anionic dye, eosin Y, from aqueous solution by chitosan hydrobeads. *J. Coll. Interf*, 30-35.
- Chiou, M. (2003). Adsorption behavior of reactive dye in aqueous solution on chemical crosslinked chitosan beads. *Chemosph*, 1095-1105.

Derbyshire, F., & Andrews, R. (2001). Synthesis of isotropic carbon fibers and activated carbon fibers from pitch precursors. *Fuel*, 345-356.

El espectador. (11 de diciembre de 2013). Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/multan-empresa-responsable-de-coloracion-del-rio-medell-articulo-463537>

Enterría, M. (Mayo de 2013). *MATERIALES DE CARBONO MICRO-MESOPOROSOS*, Universidad de Oviedo. Obtenido de file:///C:/Users/user/Downloads/TESIS_Enterr%C3%ADa_Materiales%20de%20carbono.pdf

EPA. (Marzo de 2017). *Enviromental Protection Agence*. Obtenido de <https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry#definition>

Flores, J. e. (2005). Adsorción de CU (II) por quitosano en polvos y perla de gel rey . *Scielo.org*, 17-25.

Flores, J., Navarro, A., & Ramos, K. (1 de Julio de 2005). *Scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v71n1/a04v71n1.pdf>

Fonseca, L., & Ruiz, M. (Junio de 2008). *UNIVERSIDAD DE PAMPLONA*. Obtenido de EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE POLLINAZA: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_101/recursos/01general/27112014/trabajolibiaymarta.pdf

Freundlich, H. (1906). Over the adsorption in solution . *The Journal Of Physical Chemistry C*, 385 - 471 .

Galindo, A. (Marzo de 2010). *Catalisis y Reactores Heterogéneos*. Obtenido de <https://doc/267547940/metodo-bet>

Garces, I., & Coavas, s. (16 de noviembre de 2012). *Reporsitorio universidad cartagena* . Obtenido de <http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/11227/140/1/tesis%20Garces-Coavas.pdf>

Garcia, G. C. (2011). Remoción de Pb² en disolucón acuosa sobre carbón activado en polvo. *Prospectiva*, 59-68.

Gaviria, L. F. (2015). Technologies for the removal of dyes and pigments present in wastewater. *DYNA*, 118-126.

Gonzales, M. (Noviembre de 2012). *ESTUDIO DE POLÍMEROS POROSOS SINTETIZADOS*. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/14122/399042.pdf?sequence=1>

- González, V. (2015). *Nanomateriales de Carbono, síntesis, funcionalización y aplicaciones*. Madrid: Leganes.
- Gurusamy, A., & Lai Yi Ling, J.-F. L. (2008). Adsorption of reactive dye from an aqueous solution by chitosan: isotherm, kinetic and thermodynamic analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 337-346.
- Hernández, M. Á., & Velasco, J. A. (2003). Evaluación de mesoporos y caracterización de arcillas del estado de Puebla, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 183-190.
- Hernandez, S., & Rodriguez, M. (Noviembre de 2008). *MEJORAMIENTO DE LA BIOTRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE TINTORERÍA A TRAVÉS DE UN PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA*. Obtenido de file:///C:/Users/user/Downloads/Articulosimposio.pdf
- HO, Y. e. (2002). Equilibrium sorption isotherm for metals ions on tree fern. . *Science direct* , 1421-1430.
- J., L., & Manos, G. (2010). Perspective and intriduction to adsorption and phase bahaviour in nanchannels and nanotubes. En *Adsorption and phase behavior in nanochannels and nanotubes* (pág. 1). Londres: springer.
- Khehra, M. S. (2006). Biodegradation of Azo dye C.I. Acid Red 88 by an anoxic- aerobic sequential bioreactor. *Dyes and pigment*, 1-7.
- Malik, J. (2003). Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: a case study of Acid Yellow 36. *Dyes and Pigments*, 239-249.
- McKay, H. (2003). Sorption of dyes and copper ions onto biosorbents. *Process Biochemistry*, 1047-1061 .
- Mesa, H., & Branch, J. (2009). CLASSIFICATION OF THE POROSITY IN THERMALLY TREATED COALS USING A SYSTEM OF COMPUTER AIDED MICROSCOPY. *Revista Boletín Ciencia de la Tierra*, 81-92.
- Mohamed, M. M. (2004). Acid dye removal: comparison of surfactant-modified mesoporous FSM-16 with activated carbon derived from rice husk. *Journal of Colloid and Interface Science*, 28-34 .
- Morales, M., & Martinez, J. (2011). ¿Qué tan verde es tu experimento? *Educación Química*, 240-248.
- Moreno, A., & Figueroa, D. (2012). Adsorción de azul de metileno sobre cascarilla de arroz. *SciELO*, 1-7.
- Nagarethinam, K., & Meenakshi, S. (2001). Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbons—a comparative study. *Dyes and Pigments* , 25-40.

- Nasser, A., & Hendway, A. (2001). Adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Pages 209-221.
- Nevin, Y., & Vahdettin, S. (2000). Studies of the surface area and porosity of activated carbons prepared from rice husks. *Carbón*, 1943-1945.
- Oliveira, F., & Alves, T. (2008). Evaluation of Untreated Coffe Husks As Potential Biosorbents For Treatment Of Dye Contaminated Waters. *Journal of Hazardous Materials*, 507-512.
- Osorio, R., & Di Salvo, A. (2008). Química verde: Un nuevo enfoque para las actividades experimentales de química. *Multiciencias*, 11-17.
- Pajaro, N., & Olivero, J. (2011). QUÍMICA VERDE: UN NUEVO RETO. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 169-182.
- Pearce, C., & Lloyd, J. (2003). The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review. *ScienceDirect*, 179-196.
- Pérez O, M. M. (2016). Impactos ocasionados por el desarrollo de la actividad minera al entorno natural y situación actual de Colombia. Sociedad y Ambiente. *Redalyc*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/4557/455746534005.pdf>
- Plaza, M. (19 de Mayo de 2016). *Repositorio Universidad Autonoma del Caribe*. Obtenido de <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/2339/Adsorci%C3%B3n%20del%20colorante%20Azul%20Marino%20Directo%20%28AMD%29%20en%20disoluci%C3%B3n%20acuosa%20sobre%20biomasa%20tratada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Plazas, M. (septiembre de 2016). *Adsorción del colorante azul marino directo en disolución acuosa sobre biomasa tratada preparada a partir de la borra del café en una columna de lecho fijo*. Obtenido de Universidad autonoma del caribe .
- Primera, O., Colpas, F., & Meza, E. (2011). Carbones activados apartir de bagazo de caña de azucar y zuro de maiz para la adsorcion de cadmio y plomo. *revista academica de colombia ciencia* , 388-396.
- Rafatullah, M., & Sulaiman, R. (2010). adsorption of methylene blue on low-cost adsorbentes. *Journal of hazardous materials*, 70-80.
- Ramos, j. (6 de agosto de 2010). *universidad nacional* . Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/3812/1/01197488.2011.pdf>
- Rivas, C. N. (2014). *Isoterma de langmiur y freundlich como modelos para la adsorcion de componentes de ácidos nucleicos sobre WO3*. saber.
- Rosales, C. (2017). Adsorción del colorante azul marino directo en disolución acuosa sobre biomasa tratada a partir de la borra del café en una columna de lecho fijo. Barranquilla.
- Rosales, C. (2017). *Adsorción del colorante azul marino directo en disolución acuosa sobre biomasa tratada preparada a partir de la borra del café en una columna de lecho fijo*,


- Tesis de pregrado, Universidad Autonoma Del Caribe. Barranquilla: Universidad Autónoma del caribe. Obtenido de Adsorción del colorante azul marino directo en disolución acuosa sobre biomasa tratada preparada a partir de la borra del café en una columna de lecho fijo, Tesis de pregrado, Universidad Autonoma Del Caribe.*
- Rosales, C. (2017). *Obtención de carbón activado a partir de residuo de café y su evaluación en la remoción de colorante azul marino directo*. Barranquilla : Universidad Autonoma del Caribe .
- Rosales, C. (20 de Octubre de 2017). *Repositorio Universidad Autonoma del Caribe*. Obtenido de <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/2145/Obtenci%C3%B3n%20de%20carb%C3%B3n%20activado%20a%20partir%20de%20borra%20%28cuncho%29%20del%20caf%C3%A9%20y%20su%20evaluaci%C3%B3n%20en%20la%20remoci%C3%B3n%20del%20colorante%20azul%20marino%20di>
- Ruey-Shin, J.-L., & TsengFeng-Chin, W. (2001). Role of Microporosity of Activated Carbons on Their Adsorption Abilities for Phenols and Dyes. *Adsorption*, 65-72.
- SAWYER, C. N., & McCARTY, P. L. (2001). *Chemistry for Environmental Engenieering*. Estados Unidos: McGraw Hill.
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. Mexico: Limusa Noriega Editores.
- Timmerman, E., & Chirife, J. (2001). Water sorption isotherm of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? *Journal of Food Engineering*, 19-31.
- Tinoco, O., & Medina, A. (2012). Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. *Redalyc*, 3-8.
- Torres, r., & Andrade, r. (2015). Influencia del grado de madurez en la firmeza del platano hartón. *scielo*, 563 - 567.
- Tseng, R., Wu, F., & Juang, R. (2003). Liquid-phase adsorption of dyes and phenols using pinewood-based activated carbons. *Carbón*, 487-495.
- zhang, L., & Wang, J. (2015). adsorption of mtheyl orange (MO) br Zr (IV) inmobilized cross. *internatonal journal of biological macromolecules*, 818 - 827.


13. Anexos

Anexo 1. Ficha técnica colorante azul marino directo

 HOJA DE SEGURIDAD MARINO DIRECTEX BH <small>Fecha de Actualización: marzo, 10 de febrero de 2015</small>			
1. IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA			
Nombre de la compañía:	COMERCIALIZADORA INTERNACIONAL DE COLORANTES		
Teléfonos:	CECOLOR SAS		
Fax:	(571) 741 43 00		
Correo electrónico:	(571) 420 62 32		
Dirección:	Info.cecolor@cecolor.com		
Ubicación:	CALLE 24A SUR NO. 68H - 77		
	BOGOTÁ D.C. - COLOMBIA		
2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES			
Descripción química	Colorante directo		
Color Index	Direct blue MIX		
Componentes peligrosos	No aplica		
Límite de exposición superior	No disponible		
Número UN	No aplica		
3. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS			
Identificación de los peligros	No peligroso		
 <table border="1" data-bbox="828 840 1104 955"> <tr> <td>0 - Estable</td> </tr> <tr> <td>0 - No tiene riesgo</td> </tr> </table>		0 - Estable	0 - No tiene riesgo
0 - Estable			
0 - No tiene riesgo			
4. PRIMEROS AUXILIOS			
Indicaciones Generales	Evítese el contacto con la piel y los ojos. No inhale el producto. En caso de contacto con los ojos, lave inmediatamente con abundante agua y acuda al médico. Mantenga el envase cerrado. Lávese después de manipularlo. La inhalación prolongada y repetida puede causar efectos tóxicos. El contacto prolongado o repetido con la piel puede causar irritación. Retírese la ropa contaminada. Lávese con agua y jabón. Acuda al médico si la irritación continúa. Puede causar ligera irritación en los ojos. Lávese inmediatamente con abundante agua corriente por al menos 15 minutos. Acuda al médico. No peligroso en el uso normal. En caso de ingestión beber 2 vasos de agua y atención médica.		
En caso de inhalación			
Tras contacto con la piel			
Tras contacto con los ojos			
En caso de ingestión			
5. MEDIDAS A SEGUIR EN CASO DE INCENDIO			
Medios de extinción adecuados	Agua nebulizada, arena, CO2, espuma y polvo seco.		
Desprendimiento de productos peligrosos	En caso de incendio puede desprender óxidos de Carbono, óxidos de nitrógeno y óxidos de magnesio y/o óxidos de azufre.		
Protección personal especial	En caso de un incendio, use un equipo de respiración autónomo, ropa de protección adecuada, guantes y tapabocas.		
Medidas de extinción que no deben utilizarse	No usar agua ya que puede causar daño ambiental.		
Fuego / Peligro de explosión	Los polvos concentrados pueden formar mezclas con el aire.		
6. MEDIDAS A SEGUIR EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL			
Medidas para las personas	Llevar protección personal adecuada. Observar las precauciones habituales en el manejo del producto.		
Precauciones ambientales	El producto no debe ser vertido al alcantarillado sin un tratamiento previo (depuración biológica).		
Proceso de vertimiento	Reusar de ser posible.		
7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO			
Medidas de manipulación	Evítese la inhalación de polvo. Evítese el contacto con los ojos y la piel. Manipular en lugar ventilado.		

Página 1 de 3

<div>  <div> HOJA DE SEGURIDAD MARINO DIRECTEX BH <small>Fecha de Actualización: martes, 10 de febrero de 2015</small> </div> </div>	
Medidas de prevención de incendios	Mantenga en lugar fresco y seco, proteger de temperaturas superiores a 40°C
Condiciones de almacenamiento	Mantenga el envase cerrado, en lugar seco. Mantener en temperaturas inferiores a 40°C y superiores a 0°C.
8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN	
Seguridad general y medidas de higiene	Use el equipo adecuado para prevenir la exposición y el contacto personal.
Protección respiratoria	Use respirador adecuado, para evitar polvos finos
Protección de las manos	Usar guantes de protección
Protección de los ojos	Usar gafas de protección
Protección corporal	Observar las precauciones habituales en el manejo de productos químicos.
9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
Aspecto Físico	POLVO
Olor	Inodoro
pH 1%	NO DISPONIBLE
pH 5%	NO DISPONIBLE
pH 10%	NO DISPONIBLE
pH 100%	NO DISPONIBLE
Carácter iónico	Aniónico
Temperatura de fusión	No Aplica
Temperatura de ebullición	No aplica
Punto de inflamación	No disponible
Temperatura de descomposición	No disponible
Temperatura de ignición	No disponible
Temperatura Auto ignición	No disponible
Presión del vapor	no aplica
Densidad	No disponible
Viscosidad	No aplica
Solubilidad en agua	Dispersable
Razón de evaporación	No aplica
10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
Estabilidad química	Evite la humedad, exposición directa a la luz y temperaturas superiores a 150 °C
Reacción / Polimerización peligrosa	No ocurrirá
Condiciones a evitar	Evitar congelamiento. Temperatura mínima 1°C/34°F y máxima 49°C/120°F
Incompatibilidad con otras materias	Ninguna si se usa para el fin previsto, en condiciones adecuadas de manipulación, almacenamiento y aplicación. Protéjase de temperaturas superiores a 40°C o inferiores a 5°C.
11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA	
Toxicidad aguda por vía oral (DL-50)	~2000 mg/Kg. -Ensayada en ratas-
Toxicidad cutánea	No irritante
Toxicidad en la membrana mucosa	No irritante
Acción sobre los ojos	No irritante
Otra información toxicológica	Químico con poca demanda de oxígeno y poco potencial para afectar los organismos acuáticos con bajo potencial de bioconcentración. Se diluye rápidamente en agua y es poco común que cause efectos adversos en el medio ambiente.
12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA	
Biodegradación	No disponible
Toxicidad en peces	No disponible
Toxicidad en bacterias	No disponible
Otra información ecológica	No disponible
13. INDICACIONES PARA ELIMINACIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS	
Producto	No se considera un residuo peligroso, debe de ser tratado en planta depuradora autorizada. Físico-Química, bacteriológica o termodestrucción.
Envases contaminados	Eliminar de manera similar al producto mismo.

 HOJA DE SEGURIDAD MARINO DIRECTEX BH Fecha de Actualización: martes, 10 de febrero de 2015	
14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE	
Transporte terrestre (ADR)	No peligroso
Transporte marítimo (IMDG)	No peligroso
Transporte aéreo (ICAO)	No peligroso
Otro transporte (Correo)	No peligroso
15. INFORMACIÓN DE REGULACIÓN / NORMATIVIDAD	
Símbolos de peligro	No aplica
Frases R	R 42/43 Posibilidad de sensibilización por inhalación y en contacto con la piel.
Frases S	S 7 Mantener el recipiente cerrado herméticamente. S 24/25 Evítense el contacto con los ojos y la piel.
Componentes determinantes del peligro para el etiquetado	No aplica
Intención de uso del producto	Sólo para uso industrial.
Vigencia del producto	NO APLICA
16. INDICACIONES ADICIONALES	
Reglamentación aplicable: Norma técnica Colombiana: Transporte de mercancías, Hojas de seguridad para materiales Ministerio de Transporte: Manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera. Ministerio de Ambiente: Manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.	

La información que se facilita en esta hoja de datos de seguridad, está basada en los conocimientos actuales que posee la compañía. Los datos de esta hoja hacen referencia al producto arriba indicado, pero pueden no ser válidos para su combinación con otros o en cualquier proceso. A causa de la naturaleza del producto, el usuario asume todos los riesgos con respecto a él. Estos datos describen el producto en cuestiones relacionadas con la seguridad, no debiendo considerarse una declaración de calidad o propiedad del mismo. Cualquier otra aplicación diferente a las recomendadas para el producto, debe ser consultada.

Anexo 2. RESULTADOS QUINTAL S.A.



Micromeritics Instrument Corp.

Gemini VII 3.03

Gemini VII Version 3.03
Serial # 106 Unit 1

Page 1

Sample: muestra 1
Operator: Juan
Submitter: Quintal
File: C:\Gemini VII\data\Res...\muestra No 1 17-08-2016.SMP

Started: 17/08/2016 12:53:56 p.m.	Analysis Adsorptive: N2
Completed: 17/08/2016 01:42:34 p.m.	Equilibration Time: 5 s
Report Time: 17/08/2016 01:56:33 p.m.	Sat. Pressure: 772.736 mmHg
Sample Mass: 0.2630 g	Free Space Diff.: -0.7810 cm ³
Free Space Type: Measured	Sample Density: 1.000 g/cm ³
Evac. Rate: 500.0 mmHg/min	Gemini Model: 2390 a

Summary Report

Surface Area

Single point surface area at P/Po = 0.299101498: 0.4771 m²/g

BET Surface Area: 0.5463 m²/g

Langmuir Surface Area: 0.9478 m²/g

t-Plot External Surface Area: 0.7002 m²/g

BJH Adsorption cumulative surface area of pores
between 17.000 Å and 3,000.000 Å diameter: 0.152 m²/g

Pore Volume

Single point desorption total pore volume of pores
less than 206.503 Å diameter at P/Po = 0.900000000: 0.000000 cm³/g

t-Plot micropore volume: -0.000085 cm³/g

BJH Adsorption cumulative volume of pores
between 17.000 Å and 3,000.000 Å diameter: 0.000074 cm³/g



Micromeritics Instrument Corp.

Gemini VII 3.03

Gemini VII Version 3.03
Serial # 106 Unit 1

Page 1

Sample: muestra 2
Operator: Juan
Submitter: Quintal
File: C:\Gemini VII\data\Res...\muestra No 2 17-08-2016.SMP

Started: 17/08/2016 08:47:21 a.m.	Analysis Adsorptive: N2
Completed: 17/08/2016 09:35:30 a.m.	Equilibration Time: 5 s
Report Time: 17/08/2016 09:39:09 a.m.	Sat. Pressure: 772.736 mmHg
Sample Mass: 0.1684 g	Free Space Diff.: -0.5244 cm ³
Free Space Type: Measured	Sample Density: 1.000 g/cm ³
Evac. Rate: 500.0 mmHg/min	Gemini Model: 2390 a

Summary Report

Surface Area

Single point surface area at P/Po = 0.299101498: 0.6981 m²/g

BET Surface Area: 0.7710 m²/g

Langmuir Surface Area: 1.2857 m²/g

t-Plot External Surface Area: 0.9133 m²/g

BJH Adsorption cumulative surface area of pores
between 17.000 Å and 3,000.000 Å diameter: 0.314 m²/g

Pore Volume

Single point desorption total pore volume of pores
less than 206.503 Å diameter at P/Po = 0.900000000: 0.000000 cm³/g

t-Plot micropore volume: -0.000087 cm³/g

BJH Adsorption cumulative volume of pores
between 17.000 Å and 3,000.000 Å diameter: 0.000152 cm³/g



Micromeritics Instrument Corp.

Gemini VII 3.03

Gemini VII Version 3.03
Serial # 106 Unit 1

Page 1

Sample: muestra 3
Operator: Juan
Submitter: Quintal
File: C:\Gemini VII\data\Res...\muestra No 3 17-08-2016.SMP

Started: 17/08/2016 09:51:32 a.m.	Analysis Adsorptive: N2
Completed: 17/08/2016 10:45:49 a.m.	Equilibration Time: 5 s
Report Time: 05/09/2016 12:54:46 p.m.	Sat. Pressure: 772.736 mmHg
Sample Mass: 0.1243 g	Free Space Diff.: -0.1423 cm ³
Free Space Type: Measured	Sample Density: 1.000 g/cm ³
Evac. Rate: 500.0 mmHg/min	Gemini Model: 2390 a

Summary Report

Surface Area

Single point surface area at P/Po = 0.299101498: 74.0933 m²/g

BET Surface Area: 73.9774 m²/g

Langmuir Surface Area: 110.3541 m²/g

t-Plot Micropore Area: 41.9863 m²/g

t-Plot External Surface Area: 31.9910 m²/g

BJH Adsorption cumulative surface area of pores
between 17.000 Å and 3,000.000 Å diameter: 24.392 m²/g

Pore Volume

Single point desorption total pore volume of pores
less than 206.503 Å diameter at P/Po = 0.900000000: 0.000000 cm³/g

t-Plot micropore volume: 0.021786 cm³/g

BJH Adsorption cumulative volume of pores



Micromeritics Instrument Corp.

Gemini VII 3.03

Gemini VII Version 3.03
Serial # 106 Unit 1

Page 1

Sample: muestra 4
Operator: Juan
Submitter: Quintal
File: C:\Gemini VII\data\Res...\muestra No 4 17-08-2016.SMP

Started: 17/08/2016 11:31:11 a.m.	Analysis Adsorptive: N2
Completed: 17/08/2016 12:42:23 p.m.	Equilibration Time: 5 s
Report Time: 17/08/2016 12:46:58 p.m.	Sat. Pressure: 772.736 mmHg
Sample Mass: 0.2152 g	Free Space Diff.: -0.2008 cm ³
Free Space Type: Measured	Sample Density: 1.000 g/cm ³
Evac. Rate: 500.0 mmHg/min	Gemini Model: 2390 a

Summary Report

Surface Area

Single point surface area at P/Po = 0.299101498: 80.5684 m²/g

BET Surface Area: 80.3718 m²/g

Langmuir Surface Area: 119.6152 m²/g

t-Plot Micropore Area: 49.8990 m²/g

t-Plot External Surface Area: 30.4728 m²/g

BJH Adsorption cumulative surface area of pores
between 17.000 Å and 3,000.000 Å diameter: 23.502 m²/g

Pore Volume

Single point desorption total pore volume of pores
less than 206.503 Å diameter at P/Po = 0.900000000: 0.000000 cm³/g

t-Plot micropore volume: 0.025807 cm³/g

BJH Adsorption cumulative volume of pores

Anexo 3. Análisis próximo.

Tabla 21.

Resultados contenido de humedad.

Carbón fabricado con cáscara de Banana calcinado a 300°C.	Peso inicial crisol	Peso con la muestra inicial	Peso final muestra después de calentar
Polvo (425 micras)	36,8965	37,9094	37,8236
	36,8978		
	Promedio		
	36,89715		
Granular (850 micras)	36,9792	37,0814	37,0732
	36,9798		
	Promedio		
	36,9795		
Carbón fabricado con cáscara de Banana calcinado a 500°C.	Peso inicial crisol	Peso con la muestra inicial	Peso final muestra después de calentar
Polvo (425 micras)	36,8715	37,8687	37,8052
	36,8732		
	Promedio		
	36,87235		
Granular (850 micras)	36,8795	37,8861	37,8052
	36,8803		
	Promedio		
	36,8799		

Fuente: Autores

Tabla 22.

Resultados material volátil

Carbón fabricado con cáscara de Banana calcinado a 300°C.	Peso inicial crisol	Peso con la muestra inicial	Peso final muestra después de calentar
Polvo (425 micras)	36,8860	37,9130	37,0619
	36,8880		37,0638
	Promedio		Promedio
	36,887		37,06285
Granular (850 micras)	36,9784	38,0005	37,0754
	36,9801		
	Promedio		
	36,97925		
Carbón fabricado con cáscara de Banana calcinado a 500°C.	Peso inicial crisol	Peso con la muestra inicial	Peso final muestra después de calentar
Polvo (425 micras)	36,8737	37,8658	37,0631
	36,8747		37,0643
	Promedio		Promedio
	36,8742		37,0637
Granular (850 micras)	36,8825	37,8690	37,3685
	36,8834		37,3613
	Promedio		Promedio
	36,8829		37,3649

Tabla 23.

Resultados cenizas.

Carbón fabricado con cascara de Banana calcinado a 300°C.	Peso inicial crisol	Peso con la muestra inicial	Peso final muestra después de calentar
Polvo (425 micras)	36,9086 36,9102 Promedio 36,9094	37,0174	36,9211 36,9296 Promedio 36,9253
Granular (850 micras)	36,8906 36,8583 Promedio 36.87445	36,9681	36,8532 36,8511 Promedio 36.85215

Carbón fabricado con cascara de Banana calcinado a 500°C.	Peso inicial crisol	Peso con la muestra inicial	Peso final muestra después de calentar
Polvo (425 micras)	36,8714 36,8727 Promedio 36,8720	36,973	36,8895
Granular (850 micras)	36,8708 36,8716 Promedio 36,8712	36,971	36,8847

Fuente: Autores

ANXEO 4. DATOS EXPERIMENTALES CURVA DE CALIBRACIÓN

Tabla 24

Datos para obtener curva de calibración

Concentración mg/L	Absorbancia
0,1	0,065
0,2	0,076
0,3	0,086
0,4	0,089
0,5	0,1
0,6	0,111
0,7	0,127
0,8	0,134
0,9	0,142
1	0,158

Fuente: Autores

ANEXO 5. DATOS EXPERIMENTALES AJUSTADOS AL MODELO MATEMÁTICO DE FREUNDLICH

Tabla 25

Datos experimentales pH 6, para carbón polvo 300°C

Ce	Qe	LnCe	Lnqe
0,790674603	0,92093254	-0,23486877	-0,082368492
5,00000000	5,55555555	1,609999999	1,704777777
15,2281746	10,47718254	2,723147304	2,349199801
46,4781746	25,35218254	3,838982839	3,232864823
57,39087302	34,2609127	4,049885284	3,534005133
106,0019841	39,39980159	4,663457812	3,67376078

Fuente: Autores

Tabla 26

Datos experimentales pH 9 – carbón polvo 300°C

Ce	LnCe	Qe	Lnqe
0,741071429	-0,299658263	0,925892857	-0,076996756
8,00000000	2,079441542	5,222222222	1,54940422
19,19642857	2,95472425	10,08035714	2,310588693
79,21626984	4,372181705	22,07837302	3,094598533
60,20171958	4,097700916	33,97982804	3,525767056
123,6937831	4,81780902	37,63062169	3,627818126

Fuente: Autores

Tabla 27

Datos experimentales pH 12 – carbón polvo 300 °C

Ce	LnCe	Qe	Lnqe
0,71792328	-0,331392567	0,928207672	-0,074499787
9,00000000	2,197224577	5,111111111	1,62924054
20,0000000	2,995732274	10,00000000	2,302585093
54,41468254	3,996634017	24,55853175	3,201059319
67,47685185	4,211784604	33,25231481	3,504124383
98,06547619	4,58563538	40,19345238	3,693704106

Fuente: Autores

Tabla 28

Datos experimentales pH 6 – carbón granular 300°C

Ce	LnCe	Qe	Lnqe
1,71990741	0,54227046	0,828009259	-0,18873094
10,0000000	2,30255555	5,000000000	0,31555555
24,9834656	3,21821423	9,501653439	2,25146583
66,1541005	4,19198688	23,38458995	3,15207726
88,3101852	4,48085545	31,16898148	3,43942342
100,710979	4,61225482	39,92890212	3,68710043

Fuente: Autores

Tabla 29

Datos experimentales pH 9 – carbón granular 300°C

Ce	LnCe	Qe	Lnqe
2,19940476	0,78818676	0,780059524	-0,24838505
14,00000	2,639999	7,00000000	1,5266666
18,369709	2,91070306	10,1630291	2,31875654
74,7519841	4,31417576	22,52480159	3,11461699
99,7189153	4,60235538	30,02810847	3,40213389
137,417328	4,92302249	37,82903439	3,63307691

Fuente: Autores

Tabla 30

Datos experimentales pH 12 – carbón granular 300°C

Ce	LnCe	Qe	Lnqe
2,31183862	0,83804315	0,768816138	-0,26290343
15,00000000	2,70888888	5,111111111	1,55555555
23,1646825	3,14262881	9,683531746	2,27042668
74,0906085	4,30528878	22,59093915	3,1175489
102,199074	4,62692262	29,78009259	3,39384014
137,417328	4,92302249	36,2582672	3,59066742

Fuente: Autores

Tabla 31

Datos experimentales pH 6 - carbón polvo 500°C

Ce	LnCe	Qe	Lnqe
0,27149471	-1,30381263	0,97285053	-0,02752483
1,2337963	0,21009584	5,87662037	1,77098183
3,62797619	1,28867497	11,6372024	2,45420707
23,3300265	3,14974122	27,6669974	3,32024027
42,5099206	3,74973748	35,7490079	3,57652252
74,0906085	4,30528878	42,5909392	3,75164153

Fuente: Autores

Tabla 32

Datos experimentales pH 9 - carbón polvo 500°C

Ce	LnCe	Qe	Lnqe
0,23842593	-1,4336966	0,97615741	-0,02413143
1,47189153	0,38654833	5,85281085	1,76692203
3,65443122	1,29594046	11,6345569	2,45397971
27,9596561	3,33076262	27,2040344	3,30336529
53,9186508	3,98747644	34,6081349	3,54408877
83,3498677	4,42304702	41,6650132	3,72966177

Fuente: Autores

Tabla 33

Datos experimentales pH 12 – carbón polvo 500°C

Ce	LnCe	Qe	Lnqe
0,89980159	-0,105581	0,91001984	-0,09428888
6,67030423	1,89766547	5,33296958	1,67390823
28,2903439	3,34252054	9,17096561	2,21604258
49,619709	3,90438811	25,0380291	3,22039583
76,7361111	4,34037241	32,3263889	3,47588389
103,521825	4,63978246	39,6478175	3,6800359

Fuente: Autores

Tabla 34

Datos experimentales pH 6 – carbón granular 500°C

Ce	LnCe	Qe	Lnqe
0,85350529	-0,15840354	0,91464947	-0,08921438
15,2281746	2,7231473	4,47718254	1,49899395
18,2043651	2,9016614	10,1795635	2,32038213
66,1541005	4,19198688	23,3845899	3,15207726
93,1051587	4,53372959	30,6894841	3,42392006
132,457011	4,88625814	36,7542989	3,6042552

Fuente: Autores

Tabla 35

Datos experimentales pH 9 – carbón granular 500°C

Ce	LnCe	Qe	Lnqe
0,78406085	-0,24326865	0,92159392	-0,08165059
6,46494709	1,86639483	5,35350529	1,67775154
20,8498677	3,0373476	9,91501323	2,2940501
71,7757937	4,27354728	22,8224206	3,12774341
94,0972222	4,54432853	30,5902778	3,42068224
122,205688	4,80570559	37,7794312	3,63176481

Fuente: Autores

Tabla 36

Datos experimentales pH 12 – carbón granular 500°C

Ce	LnCe	Qe	Lnqe
1,19080688	0,17463113	0,88091931	-0,12678924
6,96097884	1,9403201	5,30390212	1,6684428
24,9834656	3,21821423	9,50165344	2,25146583
65,162037	4,17687705	23,4837963	3,15631066
106,001984	4,66345781	29,3998016	3,38098793
138,244048	4,92902058	36,1755952	3,58838473

Fuente: Autores

ANEXO 6. DATOS EXPERIMENTALES AJUSTADOS AL MODELO MATEMÁTICO DE LANGMUIR.

Tabla 37

Datos experimentales para carbón polvo 300°C a pH: 6

Ce	Qe	Ce/qe
0,790674603	0,92093254	0,858558656
5,00000000	5,55555555	0,909090909
15,2281746	10,47718254	1,453460847
46,4781746	25,35218254	1,833300724
57,39087302	34,2609127	1,675112205
106,0019841	39,39980159	2,690419237

Fuente: Autores

Tabla 38

Datos experimentales para Carbón Polvo 300°C a pH: 9

Ce	Qe	Ce/qe
0,741071429	0,925892857	0,800385728
8,000000000	5,222222222	1,538461538
19,19642857	10,08035714	1,904340124
79,21626984	22,07837302	3,587957762
60,20171958	33,97982804	1,771689942
123,6937831	37,63062169	3,287051276

Fuente: Autores

Tabla 39

Datos experimentales para Carbón Polvo 300°C a pH: 12

Ce	Qe	Ce/qe
0,71792328	0,928207672	0,773451138
9,00000000	5,111111111	1,764705882
20,0000000	10,00000000	2,000000000
54,41468254	24,55853175	2,215713997
67,47685185	33,25231481	2,029237731
98,06547619	40,19345238	2,439837097

Fuente: Autores

Tabla 40

Datos experimentales para Carbón granular 300°C a pH: 6.

Ce	Qe	Ce/qe
1,719907407	0,828009259	2,077159631
10,00000000	5,000000000	2,000000000
24,98346561	9,501653439	2,629380851
66,15410053	23,38458995	2,828961324
88,31018519	31,16898148	2,833271444
100,7109788	39,92890212	2,52225765

Fuente: Autores

Tabla 41

Datos experimentales para Carbón granular 300°C a pH: 9.

Ce	Qe	Ce/qe
2,199404762	0,780059524	2,81953453
14,00000000	4,666666666	3,04333333
18,36970899	10,1630291	1,80750334
74,75198413	22,52480159	3,31865228
99,71891534	30,02810847	3,32085238
137,417328	37,82903439	3,63258884

Fuente: Autores

Tabla 42

Datos experimentales para Carbón granular 300°C a pH: 12

Ce	Qe	Ce/qe
2,31183862	0,76881614	3,00701105
15,00000000	4,55555555	2,00000000
23,1646825	9,68353175	2,39217293
74,0906085	22,5909392	3,2796604
102,199074	29,7800926	3,43179168
137,417328	36,2582672	3,7899585

Fuente: Autores

Tabla 43

Datos experimentales para Carbón Polvo 500°C a pH: 6

Ce	Qe	Ce/qe
0,271494709	0,97285053	0,27907135
1,233796296	5,87662037	0,20994997
3,62797619	11,6372024	0,31175673
23,33002646	27,6669974	0,84324389
42,50992063	35,7490079	1,18912169
74,0906085	42,5909392	1,73958616

Fuente: Autores

Tabla 44

Datos experimentales para Carbón Polvo 500°C a pH: 9

Ce	Qe	Ce/qe
0,23842593	0,97615741	0,244249466
1,47189153	5,85281085	0,251484556
3,65443122	11,6345569	0,314101453
27,9596561	27,2040344	1,027776089
53,9186508	34,6081349	1,557976208
83,3498677	41,6650132	2,000476209

Fuente: Autores

Tabla 45

Datos experimentales para Carbón polvo 500°C a pH: 12

Ce	qe	Ce/qe
0,89980159	0,91001984	0,98877139
6,67030423	5,33296958	1,25076735
28,2903439	9,17096561	3,08477265
49,619709	25,0380291	1,98177376
76,7361111	32,3263889	2,37379162
103,521825	39,6478175	2,61103466

Fuente: Autores

Tabla 46

Datos experimentales para Carbón granular 500°C a pH: 6

Ce	Qe	Ce/qe
0,85350529	0,91464947	0,93315015
15,2281746	4,47718254	3,40128518
18,2043651	10,1795635	1,78832472
66,1541005	23,3845899	2,82896132
93,1051587	30,6894841	3,03378051
132,457011	36,7542989	3,60385083

Fuente: Autores

Tabla 47

Datos experimentales para Carbón granular 500°C a pH: 9

Ce	qe	Ce/qe
0,78406085	0,92159392	0,85076608
6,46494709	5,35350529	1,20761011
20,8498677	9,91501323	2,10285829
71,7757937	22,8224206	3,14496849
94,0972222	30,5902778	3,07604994
122,205688	37,7794312	3,23471487

Fuente: Autores

Tabla 48

Datos experimentales para Carbón granular 500°C a pH: 12

Ce	qe	Ce/qe
1,19080688	0,88091931	1,35177747
6,96097884	5,30390212	1,31242596
24,9834656	9,50165344	2,62938085
65,162037	23,4837963	2,77476589
106,001984	29,3998016	3,605534
138,244048	36,1755952	3,82147265

Fuente: Autores